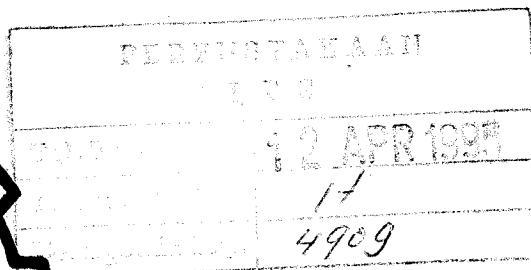


**ANALISA KESTABILAN
SISTEM KONTROL FIN STABILISER
DENGAN MENGGUNAKAN
PROGRAM PAKET ACSL**



Rsk
623.888
Wib
A-1
1994

Disusun oleh :

TAUFIQ HERMAWAN WIBISONO

N R P : 488 420 0201

**JURUSAN TEKNIK PERMESINAN KAPAL
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
1994**

TUGAS AKHIR I

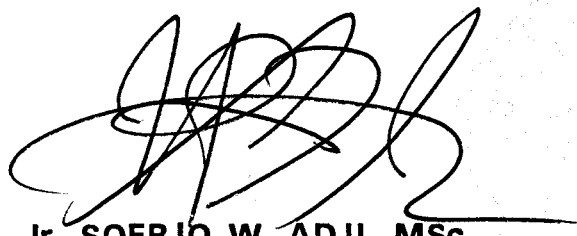
(NE 1701)

**ANALISA KESTABILAN
SISTEM KONTROL FIN STABILISER
DENGAN MENGGUNAKAN
PROGRAM PAKET ACSL**

Mengetahui / Menyetujui

Asisten

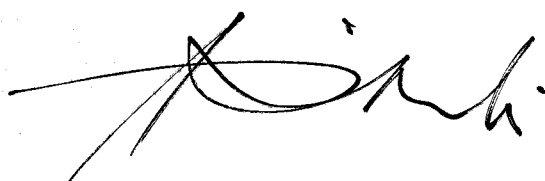
Dosen Pembimbing



Ir. SOERJO W. ADJI, MSc.

NIP 131 879 390

Dosen Pembimbing,



Ir. A S I A N T O

NIP. 131 128 952

**JURUSAN TEKNIK PERMESINAN KAPAL
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
S U R A B A Y A
1994**

A B S T R A K

Dalam pelayarannya di laut bebas, kapal sering mengalami gerakan rolling (oleng). Salah satu Anti Rolling Devices yaitu alat yang digunakan untuk mengurangi gerakan rolling adalah Fin Stabiliser. Gerakan dari Fin tersebut dikendalikan oleh suatu sistem kontrol permesinan fin yang terdiri dari komponen-komponen antara lain ; Unit kontrol (controller), Servo-hidrolik & Power piston (ram actuator), dan mekanisme crank.

Dalam analisa sistem kontrol permesinan fin stabiliser, controller Proporsional (P) dan Proporsional + Integral (PI) akan kita bandingkan pengaruhnya terhadap performansi sistem. Sedangkan dalam analisa sistem stabilisasi kapalnya sendiri, controller Proporsional dan Proporsional + Derivative (PD) juga akan kita bandingkan dan diuji untuk menentukan mana yang paling baik pengaruhnya terhadap performansi sistem.

Di dalam analisa ini digunakan program paket ACSL (Advanced Continuous Simulation Language) untuk mengevaluasi keseluruhan sistem sesuai dengan aplikasi dari teori-teori sistem kontrol. Program paket ACSL mempunyai fasilitas untuk menghasilkan beberapa grafik atau diagram yang diperlukan dalam analisa di bidang kontrol, seperti Respon Transient diagram, Bode plot, Nyquist diagram, dan Root Locus.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirobbil'alamin, segala puji bagi Allah SWT semata, yang menciptakan dan mengatur segala sesuatu dengan proses, hukum, aturan dan ukuran tertentu, yang membuka pintu ilmu kepada makhlukNya untuk memahami kebesaran dan kekuasaanNya agar dapat lebih mendekat kepadaNya.

Dan dengan Rohman dan Rohimnya kami telah diberikan sebagian terkecil ilmuNya, waktu dan kesempatan sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang merupakan suatu persyaratan mutlak bagi mahasiswa untuk mendapatkan gelar kesarjanaan. Merupakan suatu kebahagiaan tersendiri bagi kami dapat menerapkan ilmu yang kami dapat semasa kuliah dan referensi dari beberapa buku dalam bentuk nyata baik tulisan maupun hasil perancangan. Berkat bantuan berbagai pihak, Tugas Akhir yang kami beri judul *Analisa Kestabilan Sistem Kontrol Fin Stabiliser dengan Menggunakan Program Paket ACSL Komputer* ini dapat terselesaikan. Untuk itu kami mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ir. Santoso Tondohartono, selaku Dekan Fakultas

Teknologi Kelautan, ITS.

2. Ir. M. Orianto, BSE, M.Sc, selaku Ketua Jurusan Teknik Permesinan Kapal, FTK, ITS.
3. Ir. Asianto, selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir.
4. Ir. Suryo Widodo Adji, M.Sc, selaku Asisten Pembimbing yang telah banyak memberikan masukan kepada penulis.
5. Ir. Tjoek Soeprajitno, selaku Dosen Wali.
6. Kepada Kedua Orang tua, Ulfi, Hanum, adik-adikku Arief, Nunung dan Nur yang tercinta.
7. Bapak-Bapak Dosen di lingkungan Fakultas Teknologi Kelautan, ITS.
8. Segenap Karyawan di lingkungan FTK, ITS.
9. Seluruh rekan-rekan pada Jurusan Teknik Permesinan Kapal.
10. Dan semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu.

Surabaya, Januari 1994

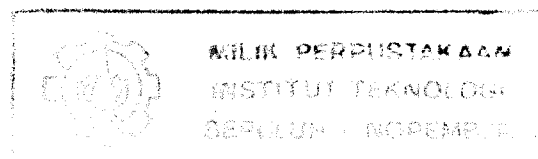
Penyusun

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PENGESAHAN	
SURAT TUGAS	
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR NOTASI	viii
BAB I PENDAHULUAN	I.1
1.1. Latar Belakang Permasalahan	I.1
1.2. Tujuan Penulisan	I.5
1.3. Pembatasan Masalah	I.5
1.4. Metode Penulisan	I.6
BAB II DASAR TEORI SISTEM KONTROL	II.1
2.1. U m u m	II.1
2.2. Maksud dan Tujuan Sistem Kontrol ...	II.2
2.3. Bagaimana Mengendalikan Variabel	
Proses Pada Sistem Kontrol	II.3
2.4. Feed Back Control System	II.4
2.4.1. Yang Perlu Diketahui Didalam	
Feed Back Control System	II.7
2.42. Dasar Analisa Untuk Linier Feed Back	
Control System Dengan Root Locus ...	II.10

BAB	III	TINJAUAN UMUM	III.1
		3.1. Gerak Kapal	III.1
		3.2. Sistem Stabilisasi Gerak Roll	III.3
		3.3. Prinsip Penggerak Fin	III.6
BAB	IV	MODEL MATEMATIK & TRANSFER FUNCTION SYSTEM	IV.1
		4.1. Model Matematik Sistem Permesinan	
		Fin Stabiliser	IV.3
		4.1.1. Motor Servo-Hidrolik	IV.3
		4.1.2. Ram Actuator or Power Piston	IV.10
		4.1.3. Elemen Feed Back	IV.11
		4.1.4. Crank	IV.14
		4.1.5. Gaya Angkat Fin	IV.16
BAB	V	CONTROL UNIT	V.1
		5.1. Unit Kontrol Sistem Permesinan Fin	V.2
		5.1.1. Aksi Kontrol Proporsional	V.2
		5.1.2. Aksi Kontrol Integral	V.3
		5.1.3. Aksi Kontrol Derivative	V.4
		5.1.4. Aksi Kontrol P+I	V.5
		5.2. Unit Kontrol Sistem Stabilisasi	
		Kapal	V.7
BAB	VI	ANALISA RESPON TRANSIEN SISTEM	VI.1
		6.1. Pengenalan Program Paket ACSL	VI.1
		6.2. Analisa Respon Transien Sistem	
		Permesinan Fin	VI.2

6.2.1. Penerapan Kontroler Proporsional ..	VI.4
6.2.2. Penerapan Kontroler P+I	VI.6
6.3. Analisa Respon Transien Sistem	
Stabilisasi Kapal	VI.9
6.3.1. Penerapan Kontroler P+D	VI.12
6.3.2. Penerapan Kontroler Proporsional ..	VI.17
BAB VII KESIMPULAN	VII.1
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN - LAMPIRAN	



DAFTAR GAMBAR

GAMBAR :

	Halaman
2.1 : Representasi Global Control System	II.2
2.2 : Functional Block Diagram Feed Back Control System	II.5
2.3 : Transfer Function	II.8
3.1 : Gerak Roll Vs Momen Stabilisasi	III.4
3.2 : Aksi Gerakan Fin	III.7
4.1 : Block Diagram Stabilisasi Kapal Yang Disederhanakan	IV.2
4.2 : Mekanisme Penggerak Fin	IV.4
4.3 : Diagram Skematik Servo-Hidrolik	IV.5
4.4 : Kurva Karakteristik servo-Hidrolik Yang Diliniisasi	IV.7
4.5 : Ram Actuator or Power Piston	IV.10
4.6 : Servo-Hidrolik Dengan Elemen Feed Back	IV.12
4.7 : Mekanisme Crank	IV.15
5.1 : Block Diagram Kontroler Proporsional	V.3
5.2 : Block Diagram Kontroler Integral	V.4
5.3 : Block Diagram Kontroler P+I	V.6
5.4 : Passive Network and Amplifier	V.8
6.1 : Outline Struktur Program ACSL	VI.3
6.2 : Closed Loop Fin Angle Control System	VI.4

DAFTAR NOTASI

A	=	Luas piston daya [m^2]
A_f	=	Luas fin
a_e	=	Aspek ratio efektif dari fin
B	=	Lebar kapal
$b(t)$	=	Sinyal feed back
β	=	Sudut fin (radian)
C_L	=	Koefisien lift dari fin
$C(s)$	=	Transformasi Laplace out put sistem
$C(t)$	=	Sinyal out put
D	=	Displacement kapal
$E(s)$	=	Transformasi Laplace sinyal error
$e(t)$	=	Sinyal error
f	=	Koefisien gesekan viskos [$N \text{ dt}/m$]
GM	=	Tinggi titik metasentra
g	=	Percepatan gravitasi
$\gamma(s)$	=	Total gangguan roll kapal (derajat)
$H(s)$	=	Transfer function dari elemen feed back
h	=	Tinggi titik metasentra kapal model
I	=	Momen inersia
K_{amp}	=	Konstanta penguatan amplifier
K_{cr}	=	Konstanta penguatan crank
K_d	=	Konstanta penguatan derivatif
K_{gc}	=	Konstanta penguatan gyroscopic

K_i	=	Konstanta penguatan integral
K_p	=	Konstanta penguatan proporsional
K_{sh}	=	Konstanta penguatan servohidrolik
L	=	Gaya lift fin
$M(s)$	=	Transformasi Laplace sinyal kontrol
$m(t)$	=	Sinyal kontrol
m	=	massa kapal
ΔP	=	Beda tekanan pada piston daya [N/m^2]
Q	=	Laju aliran minyak ke silinder daya [kg/dt]
$\theta(s)$	=	Sudut rool kapal (derajat)
$R(s)$	=	Transformasi Laplace sinyal input
$R(t)$	=	Sinyal input
r	=	Jari-jari girasi crank
ρ	=	Rapat massa minyak [kg/m^3]
S	=	Integrator
T	=	Periode osilasi kapal
T_{cu}	=	Konstanta waktu control unit
T_d	=	Konstanta waktu derivatif
T_i	=	Konstanta waktu integral
T_{pn}	=	Konstanta waktu passive network
T_{sh}	=	Konstanta waktu servohidrolik
V	=	Kecepatan kapal
Ω	=	Sudut sweep dari garis quarter fin
ω_n	=	Frekuensi natural kapal
x	=	Perpindahan katup pandu servohidrolik [m]
ξ	=	Damping ratio

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 1 : Spesifikasi Kapal dan Fin Stabiliser VI.19

B A B I

P E N D A H U L U A N

1.1. LATAR BELAKANG PERMASALAHAN

Dalam pelayarannya di laut bebas, kapal selain melakukan gerakan maju juga akan mengalami gerakan-gerakan yang lain. Gerakan-gerakan kapal tersebut dapat dibedakan menjadi 6 macam gerakan, yaitu : pitching, heaving, surging, yawing, sawing dan rolling. Gerakan-gerakan ini disebabkan oleh gaya-gaya dari luar maupun dari kapal itu sendiri.

Keberadaan kapal di laut dipengaruhi oleh kondisi lingkungan alam sekitarnya yang dapat berupa gangguan. Kondisi lingkungan yang mempengaruhi gerakan kapal dapat berupa : gelombang laut, tiupan angin, hujan badai, pergeseran-pergeseran benda/muatan yang ada di dalam kapal, dan sebagainya. Akan tetapi gerakan-gerakan tersebut paling besar adalah disebabkan oleh gelombang laut yang dijumpai selama perjalanannya. Akibatnya maka Titik Bouyancy (B) dari kapal tersebut akan selalu bergeser. Bila Titik (B) tersebut tergeser secara melintang maka pada kapal tersebut akan terjadi gerakan Rolling (oleng). Gerakan ini harus dikurangi atau dihindari, karena akan mengganggu stabilitas kapal dan

mengurangi kenyamanan penumpang maupun ABK. Oleh karena itu gerakan-gerakan kapal terutama gerakan rolling tersebut harus diatasi atau diantisipasi sejak dini, yakni sejak perencanaan pembuatan kapal tersebut, agar kapal tersebut nantinya mempunyai stabilitas yang baik.

Berbicara mengenai stabilitas adalah suatu hal yang sangat penting didalam dunia perkapalan. Mengingat salah satu fungsi dari pada kapal adalah merupakan sarana transportasi di laut yang mengangkut awak kapal, penumpang dan/atau barang, maka sangat diutamakan untuk menjaga keselamatan dari pada kapal tersebut. Untuk dapat menjamin keselamatan kapal tersebut dalam pelayarannya antara lain kapal harus mempunyai stabilitas yang baik. Atau dengan kata lain kapal harus mampu melawan semua gaya-gaya dari luar yang menyebabkan kemiringannya, sehingga kapal tersebut dapat kembali ke kedudukannya semula.

Agar kapal jangan sampai terlalu oleng, maka biasanya dibagian lambung kapal dipasang alat-alat yang biasa disebut Anti Rolling Devices. Diantara Anti Rolling Devices tersebut adalah Fin Stabilizer yang bentuknya adalah suatu foil (aerofoil). Fin Stabilizer ini digerakkan oleh suatu sistem permesinan fin yang dikontrol oleh unit kontrol yang memberikan sinyal kontrol yang berupa besaran sudut fin yang kita inginkan, agar fin dapat menghasilkan suatu momen penstabil, yang merupakan gaya lift dari potongan aerofoil tersebut, untuk melawan momen gelombang.

Pada dasarnya sistem kontrol Fin Stabilizer ini terdiri dari tiga unit utama, yaitu :

1. Sensor Unit, peralatan ini berupa gyroscopic, yang berfungsi untuk mendeteksi perubahan dari sudut dan kecepatan gerak rolling kapal dan menghasilkan sinyal elektrik yang merupakan sinyal input bagi unit kontrol.
2. Control Unit, adalah peralatan yang berfungsi untuk membandingkan harga yang sebenarnya dari output sistem dengan harga yang diinginkan (input referensi), menentukan deviasi dan menghasilkan sinyal kontrol yang akan memperkecil deviasi sampai suatu harga yang terkecil atau sampai nol.

Unit kontrol ini juga dilengkapi dengan peralatan Passive Network and Amplifier, yang berfungsi untuk memperkuat sinyal dan mengubah sinyal elektrik dari gyroscopic menjadi sinyal aksial displacement.

3. Opersionl Unit. Unit ini terdiri dari motor servo-hidrolik, yang terdiri dari Ram Actuator atau Power Piston, mekanisme crank dan fin itu sendiri. Peralatan-peralatan ini berfungsi untuk menggerakkan fin.

Secara garis besar, prinsip kerja sistem kontrol fin stabiliser adalah sebagai berikut :

Pada saat kapal mengalami keolengan, maka gerak rolling kapal tersebut akan terdeteksi oleh gyroscopic yang akan bekerja dan menghasilkan sinyal elektrik yang menunjukkan besarnya sudut dan kecepatan gerak rolling

kapal. Selanjutnya sinyal tersebut diteruskan ke unit kontrol. Disini sinyal diperkuat dan dirubah dari sinyal elektris menjadi sinyal aksial displacement. Dengan kata lain dari unit kontrol ini dihasilkan suatu sinyal kontrol yang digunakan untuk menggerakkan servo-hidrolik yang diteruskan ke mekanisme crank untuk menggerakkan fin pada suatu sudut yang diinginkan. Dari sistem ini akan dihasilkan suatu momen penstabil untu melawan gaya luar (gelombang laut) yang mengakibatkan gerak rolling kapal, sehingga kapal akan berada pada keadaan stabil kembali.

Permasalahannya disini adalah bagaimanakah performansi dari sistem kontrol fin stabiliser tersebut dengan menerapkan beberapa aksi kontrol pada unit kontrolnya. Bagaimanakah kestabilan sistem dan perbandingan performansi-nya, dengan diterapkannya aksi kontrol dari unit kontrol yang berlainan.

Langkah pertama dalam merumuskan masalah adalah dengan menurunkan model matematika masing-masing konponen sistem kontrol Fin Stabilizer tersebut. Dari model matematika ini dapat dicari transfer function (fungsi alih) dari sistem tersebut secara keseluruhan.

Pemecahan permasalahan dapat dilakukan dengan menganalisa transfer function yang telah diturunkan pada perumusan masalah. Analisa ini meliputi analisa kestabilan sistem, respon transien sistem, sensitivitas sistem dan mencari error steady state dari sistem.

1.2. TUJUAN PENULISAN

Tujuan yang akan dicapai dalam penulisan Tugas Akhir ini adalah untuk :

Tujuan Umum :

1. Memberikan informasi kepada pembaca mengenai sistem kontrol fin stabilizer suatu kapal.
2. Mempelajari serta memahami lebih jauh prinsip kerja dari pada sistem kontrol fin stabilizer suatu kapal.

Tujuan Khusus :

1. Menganalisa dan membandingkan pengaruh dari beberapa aksi kontrol (yaitu aksi kontrol Proporsional, Proporsional plus Integral (P+I), Proporsional plus Derivative (P+D)), terhadap performansi sistem.
2. Mencari dan menganalisa respon transien sistem dengan menerapkan aksi kontrol tertentu.
3. Menganalisa kestabilan sistem.
4. Menganalisa sensitivitas sistem.
5. Menganalisa error steady state sistem.

1.3. PEMBATASAN MASALAH

Agar pembahasan masalah tidak keluar dari tujuan penulisan semula dan karena keterbatasan waktu dan kemampuan penulis, maka perlu dibuat batasan-batasan sebagai berikut :

1. Analisa hanya dilakukan pada kapal model yang mempunyai spesifikasi sebagai berikut :
 - Displacement kapal, D = 375 T
 - Draft kapal = 2,2 m
 - Tinggi titik metasentra, h = 0,71 m
 - Jumlah pasang dari fin = 1
 - Type fin = NACA 0015
 - Luas fin = 1,43 m²
 - Aspect Ratio of fin = 0,7
 - Fin moment arm = 4,3 m
 - Koefisien lift fin, C_L = 1,46
 - Fin limited angle = 20° (deg.)
2. Analisa respon transien dan *error steady state* dilakukan dengan *sinyal masukan fungsi tangga (Unit Step Input Function)*.
3. Lay out serta konstruksi dari sistem diluar pembahasan.
4. Sistem dianggap linier.
5. Tidak membahas aspek ekonomis.

1.4. METODE PENULISAN

Metodologi penulisan Tugas Akhir ini meliputi :

1. Studi Literatur

yaitu dengan mengambil dari beberapa buku yang

didapatdari perkuliahan maupun dari buku-buku referensi yang ada di perpustakaan.

2. Studi Lapangan

yaitu dengan mencari data-data yang ada di PT. PAL Indonesia.

B A B II

DASAR TEORI SISTEM KONTROL

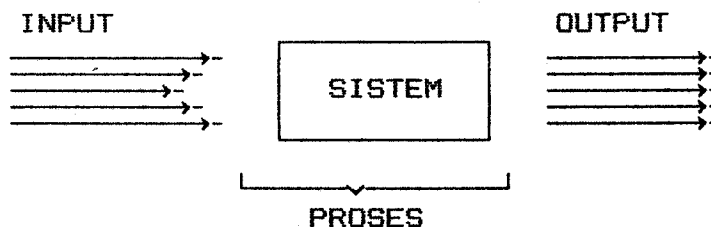
2.1. U M U M

Sistem kontrol (sistem pengendalian) otomatis telah memegang peran yang sangat penting dalam perkembangan ilmu dan teknologi. Disamping sangat diperlukan pada pesawat ruang angkasa, peluru kendali, sistem pengemudian pesawat maupun kapal, dan sebagainya, sistem kontrol otomatis juga telah menjadi bagian yang penting dan terpadu dari proses-proses dalam pabrik dan industri modern.

Karena kemajuan dalam teori dan praktek sistem kontrol otomatis memberikan kemudahan dalam mendapatkan performansi dari sistem dinamik, mempertinggi kualitas dan menurunkan biaya produksi, mempertinggi laju produksi, meniadakan pekerjaan-pekerjaan rutin yang membosankan yang harus dilakukan oleh manusia, dan sebagainya, maka sebagian besar insinyur dan ilmuwan sekarang harus mempunyai pemahaman yang baik dalam bidang ini.

2.2. MAKSUD dan TUJUAN SISTEM KONTROL

Yang dimaksud dengan sistem kontrol (control system) adalah suatu usaha atau perlakuan yang dilakukan terhadap suatu sistem, dengan masukan (input) tertentu untuk mendapatkan keluaran (output) sesuai dengan yang diinginkan. Suatu sistem kontrol dapat direpresentasikan seperti pada gambar di bawah.



Gambar 2.1 : Representasi global sistem kontrol

Suatu sistem itu perlu dikendalikan tujuan sebenarnya adalah untuk mendapatkan performance (unjuk kerja) sistem yang baik (optimal), sehingga didapatkan output sesuai dengan yang direncanakan.

Tentunya perencanaan sistem kontrol tersebut dibuat agar performance sistem baik, hal ini dapat dilihat pada respon keluaran sistem tersebut.

Ciri-ciri atau contoh performance sistem yang baik antara lain :

- Time konstan (waktu untuk mencapai keadaan konstan) sistem diusahakan sekecil mungkin.
- Maximum overshoot (lewatan maksimum) sistem sekecil mungkin.
- Delay time (waktu tunda) sistem sekecil mungkin.
- Error sistem kontrol yang sekecil mungkin.

Dan biasanya performance suatu sistem kontrol ditunjukkan dalam bentuk grafik respon transien sistem.

2.3. BAGAIMANA CARA MENGENDALIKAN VARIABEL PROSES PADA SISTEM KONTROL

Cara untuk mengendalikan variabel proses adalah dengan melakukan analisa dan perancangan. Pada penganalisaan dan perancangan suatu sistem kontrol terlibat beberapa faktor yang perlu dipahami dan dikuasai, yaitu :

1. Dasar-dasar matematika

Pada penganalisaan dan perancangan sistem kontrol dasar-dasar matematika yang banyak dipakai adalah Transformasi Laplace, Transformasi Z, Transformasi Fourier, Matriks, Persamaan beda hingga dan lain-lain.

2. Model matematik sistem fisik

Untuk penganalisaan dan perancangan sistem kontrol

harus diketahui atau dicari dulu model matematik dari pada sistem fisik tersebut. Dan penguasaan terhadap pemodelan matematika dari sistem fisik pada sistem kontrol merupakan satu hal yang paling penting.

3. Respon sistem kontrol

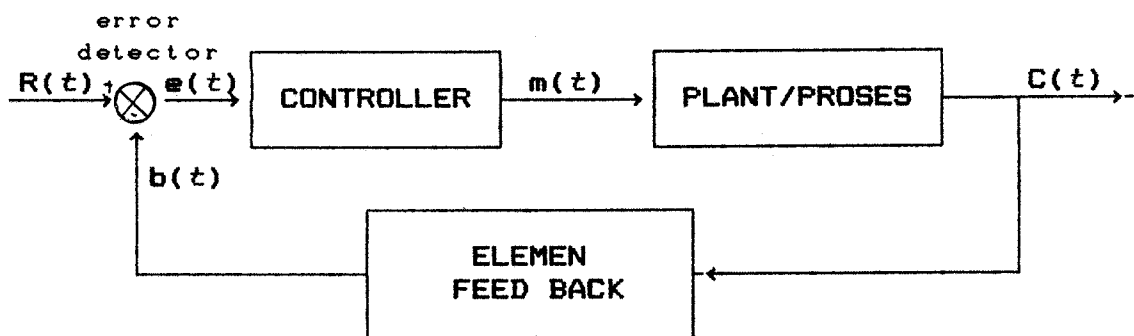
Misalnya respon transien dan respon frekuensi, yang digunakan untuk memudahkan penganalisaan sistem kontrol. Selain direpresentasikan dalam bentuk persamaan matematika juga ,direpresentasikan dalam bentuk grafik, dan respon sistem kontrol ini digunakan untuk mengetahui karakteristik atau performance sistem yang dianalisa atau dirancang.

4. Analisa kestabilan sistem kontrol

Digunakan untuk mengetahui kestabilan sistem kontrol yang dianalisa atau dirancang. Misalnya dengan analisa kestabilan Routh-Locus, Nyquist, Bode Diagram dan sebagainya.

2.4. FEED BACK CONTROL SYSTEM

Pada umumnya suatu "Feed back control system" terdiri dari bagian-bagian yang dapat digambarkan secara functional block diagram sebagai berikut :



Gambar 2.2 : Functional block diagram of Feed back control system

Seperti tergambar, pada umumnya setiap sistem kontrol mempunyai komponen-komponen dalam fungsi masing-masing sebagai berikut :

1. Reference Input $\{R(t)\}$:

disebut juga set point adalah sinyal yang diumpankan pada suatu sistem yang digunakan sebagai acuan (reference) untuk menentukan keluaran sistem.

2. Summing Point (Error Detector) :

adalah bagian yang berfungsi untuk menjumlahkan semua sinyal yang masuk padanya dan kemudian meneruskan sinyal tersebut kepada kontroler.

Bagian ini juga berfungsi untuk membandingkan antara reference input dengan sinyal feed-back.

3. Sinyal Feed-back $\{b(t)\}$:

adalah sinyal yang dihasilkan oleh elemen feed-back.

4. Sinyal Error $\{r(t)\}$:

adalah sinyal yang dihasilkan oleh error detector yaitu perbedaan antara reference input dan sinyal feed-back.

Jadi $e(t) = r(t) - b(t)$

5. Kontroler :

adalah bagian yang berfungsi untuk menghasilkan sinyal kontrol untuk mengendalikan proses.

Biasanya di dalam kontroler ini terjadi amplifikasi (penguatan) terhadap sinyal yang masuk, karena sinyal yang masuk dari error detector sangat lemah sehingga bila tanpa penguatan sinyal tersebut tidak akan dapat mempengaruhi bekerjanya proses.

6. Sinyal Kontrol $\{m(t)\}$:

disebut juga sinyal termanipulasi (manipulated signal) adalah sinyal yang dihasilkan oleh kontroler, yang berfungsi sebagai masukan (input) pada proses.

7. Processing Device (Proses) :

Bagian ini dapat diartikan sebagai pekerja, karena disinilah terjadinya proses kerja yang sebenarnya didalam sistem itu, dimana akan menghasilkan hasil kerja/out-put.

8. Sinyal Out-put $\{c(t)\}$:

adalah sinyal keluaran dari proses yang dikendalikan oleh kontroler.

9. Elemen Feed-back/Measuring Means :

adalah bagian yang berfungsi untuk mengubah sinyal out-put menjadi sinyal feed-back. Sinyal feed-back ini

mempunyai besaran yang sama dengan sinyal input referensi. Bagian ini biasanya terdiri dari transduser atau sensor yang berfungsi untuk mengubah suatu bentuk sinyal ke bentuk yang lain.

Bagian ini bisa ada atau tidak pada suatu sistem kontrol tergantung pada outputnya. Diperlukan elemen feed-back jika sinyal output mempunyai besaran yang tidak sama dengan sinyal input referensi dan tidak diperlukan elemen feed-back jika besaran sinyal output sudah sama dengan besaran sinyal input referensi.

2.4.1. YANG PERLU DIKETAHUI DIDALAM FEED BACK CONTROL SYSTEM

Didalam feed back control system, perlu diketahui apa yang dimaksud dengan :

1. Open Loop System
2. Closed Loop System
3. Transfer Function.

Sistem disebut open loop, bila pada sistem tersebut tidak terjadi feed back (umpan balik) dari sinyal outputnya. Sehingga proses bekerjanya sistem itu tidak merupakan feed back system.

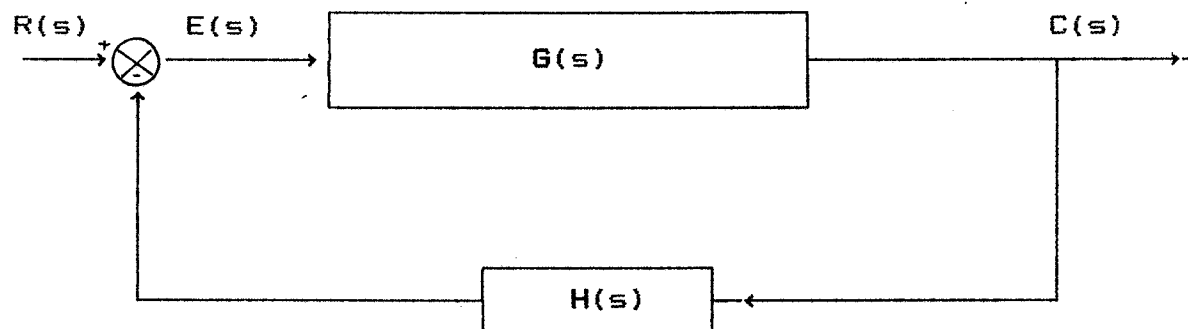
Sedang sistem disebut closed loop, bila pada sistem itu terjadi feed back dari sinyal outputnya. Dan proses umpan balik ini akan mengakibatkan terjadinya error yang berasal dari selsih antara input dengan output yang diumpanbalikkan

didalam error detector. Dengan demikian sistem akan tetap berjalan selama besarnya error itu tidak sama dengan nol.

Dan yang dimaksud dengan transfer function sebenarnya adalah persamaan gerak dari sistem yang dinyatakan dalam transformasi Laplace dan dituliskan sebagai output dibagi dengan inputnya.

Sehingga untuk open loop system didapatkan open loop transfer function, dan dari closed loop system didapatkan closed loop transfer function.

Bila fungsional block diagram pada gambar (2.3) dinyatakan dalam transfer function block diagram, maka bentuk umumnya dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 : Transfer function block diagram

dimana :

$G(s) H(s)$ = Open loop transfer function

$H(s)$ = Transfer function dari elemen feed back

$R(s)$ = Transformasi Laplace dari input sistem
 $C(s)$ = Transformasi Laplace dari output sistem
 $E(s)$ = Transformasi Laplace dari sinyal error

Disini berlaku persamaan :

$$E(s) = R(s) - C(s) H(s) \quad (2-1)$$

dan untuk open loop system berlaku persamaan :

$$\frac{C(s)}{E(s)} = G(s) \quad (2-2)$$

sehingga untuk closed loop system berlaku :

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G(s)}{1 + G(s) H(s)} \quad (2-3)$$

dimana :

$1 + G(s) H(s) = 0$ disebut "persamaan karakteristik"

Untuk unity feed back system, dimana elemen feed back $H(s)=1$, maka persamaan karakteristiknya menjadi $1 + G(s) = 0$.

Pada sistem-sistem yang mempunyai derajat lebih besar dari dua , didalam menganalisa transient response, pada dasarnya selalu berpijak dari second order system dengan unit step input.

2.4.2. DASAR ANALISA UNTUK LINIER FEED BACK CONTROL SYSTEM DENGAN ROOT LOCUS

Didalam melakukan analisa dengan Linier Feed Back Control System, terdapat tiga tujuan utama, yaitu :

1. Menganalisa stabil atau tidaknya suatu sistem.
2. Bagaimana "Transient Performance"nya.
3. Bagaimana "Stedy State Performance"nya.

Didalam pembahasan ini, untuk mencakup ketiga tujuan tersebut diatas, dipergunakan methode "Root Locus". Sebenarnya Root Locus adalah merupakan tempat kedudukan akar-akar dari persamaan karakteristik $G(s) H(s) + 1 = 0$, bila salah satu dari parameter didalam persamaam karakteristik ini harganya berubah-ubah, dari nol sampai tak terhingga. Sebagai parameternya mungkin bisa berbentuk gain, bisa berbentuk friction an lain-lain, dimana pokoknya merupakan faktor koefisien, yang terdapat didalam persamaan karakteristik.

Dari Root Locus ini nantinya akan terlihat bahwa sistem dikatakan stabil, bila pada suatu harga parameter (K), akar dari persamaan karakteristik berada di Region Negative (-) Real Part atau disebelah kiri sumbu real part.

BAB III

TINJAUAN UMUM

3.1. GERAK KAPAL

Kapal mengalami gerak roll dari kondisi tegaknya dengan energi kinetik yang besar dan terus bergerak roll melebihi kondisi tegaknya dengan deselerasi angular yang bertambah sampai energi kinetiknya nol. Gaya berat dan gaya bouyancy kapal tetap konstan selama proses, tetapi garis pemisah vertikalnya berubah sehingga menambah energi potensial yang tersedia untuk rolling kapal, kembali pada kondisi tegak. Tanpa gaya viscous pada kapal transfer energi dari kinetik ke energi potensial dan ke energi kinetik lagi, akan terus berlangsung. Tetapi gaya viscous pada badan kapal dibawah dan diatas garis air (water line) mentransfer sebagian energi rolling dari kapal ke udara dan air disekitarnya dan lambat laun mengurangi gerak roll. Gaya tambahan yang dihasilkan sistem stabilisasi menambah energi yang ditansfer dari kapal cukup besar dan memastikan pengurangan yang lebih cepat pada gerak roll. Karakteristik rolling dari kapal di perairan/laut tergantung pada :

- Karakteristik kapal,
- Sifat media tempat kapal mengapung.

Karakteristik kapal meliputi ukuran utama dan sarat kapal, tinggi gaya berat dan distribusi berat kapal. Hal ini biasanya tetap, sehingga menyebabkan osilasi, pada frekwensi natural tanpa redaman (undamped). Oleh karena itu variabel-variabel tersebut menyumbang pada gerak roll dan dapat dianggap sebagai gerak harmonik sederhana (simple harmonic motion). Periode osilasi dan diperoleh dari rumus di bawah ini :

$$T = 2\pi \sqrt{\left[\frac{I}{m \times g \times GM} \right]} \quad (3-1)$$

$\sqrt{(I/m)}$ kira-kira proporsional terhadap lebar kapal, sehingga persamaan (3-1) menjadi :

$$T = \frac{C \times B}{\sqrt{(GM)}} \quad (3-2)$$

dimana :

I = Momen Inersia

GM = Tinggi titik metasentra

B = Lebar kapal

C = Konstanta

m = massa dari kapal

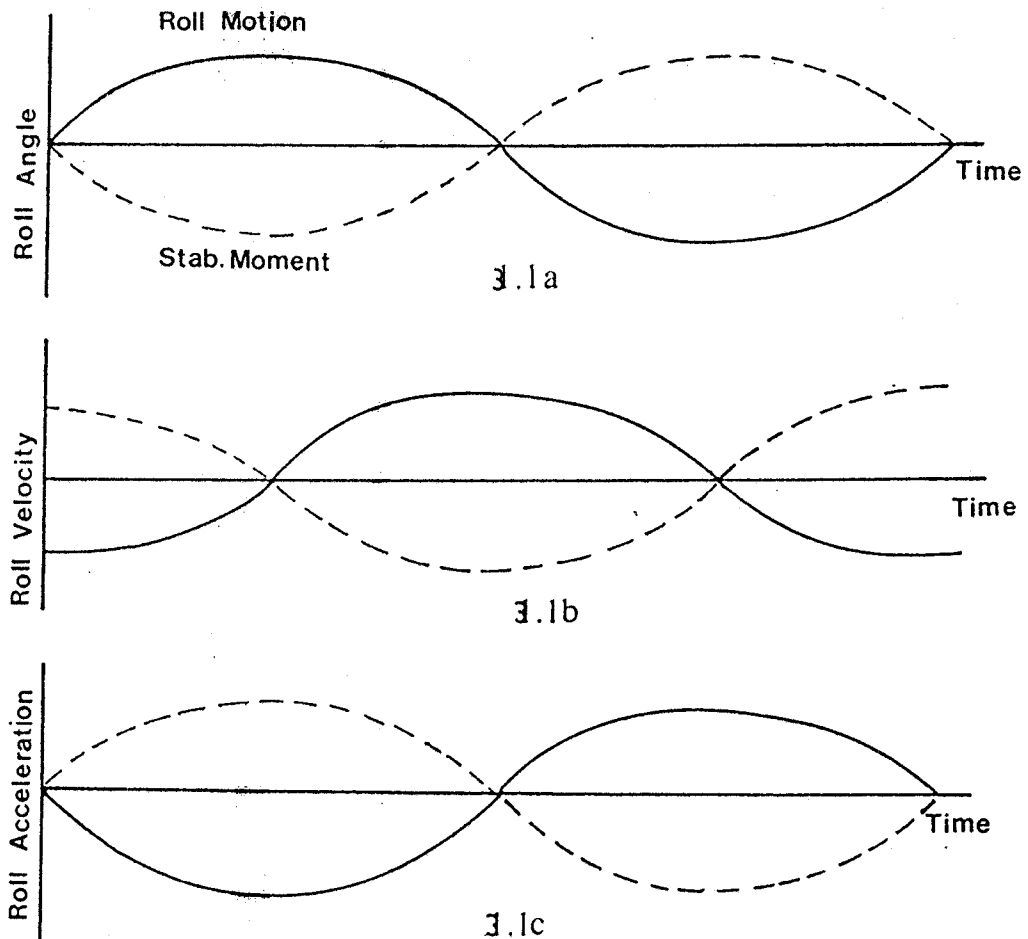
g = percepatan gravitasi

Gaya osilasi tambahan terutama disebabkan oleh gelombang laut. Hal ini tergantung pada tinggi gelombang dan waktu periode gelombang. Sistem gelombang tidak konstan dalam semua karakteristiknya dan terdapat gangguan antara gerak roll kapal dan frekwensi dari pertemuan dengan gelombang, yang berakibat bahwa terdapat variasi yang besar pada amplitudi roll dan variasi yang kecil pada periode roll. Oleh karena itu gerakannya tidak periodik dan tanpa frekwensi tertentu, sehingga hal ini menambah gerak random yang dipaksakan pada gerak roll kapal.

Jika sudut roll bervariasi kira-kira secara sinusoidal terhadap waktu, maka kecepatan roll bervariasi kira-kira secara sinusoidal, tetapi keluar dari fase sebesar 90° dengan sudut roll. Dalam hal ini kecepatan roll adalah maksimum pada saat sudut roll 0° , dan kecepatan roll nol pada saat sudut roll maksimum. Hampir sama dengan yang di atas, percepatan roll adalah 180° keluar dari fase terhadap sudut roll. Akibatnya kedua-duanya maksimum dan nol pada saat yang sama, tetapi berlawanan. Hal ini ditunjukkan pada gambar 3.1, yang juga menunjukkan momen stabilisasi yang dibutuhkan untuk mengkoreksi sudut, kecepatan dan percepatan gerak roll.

3.2. SISTEM STABILISASI GERAK ROLL

Baik karakteristik kapal dan aksi gelombang laut



Gambar 3.1 : Gerak Roll Vs Momen Stabilisasi

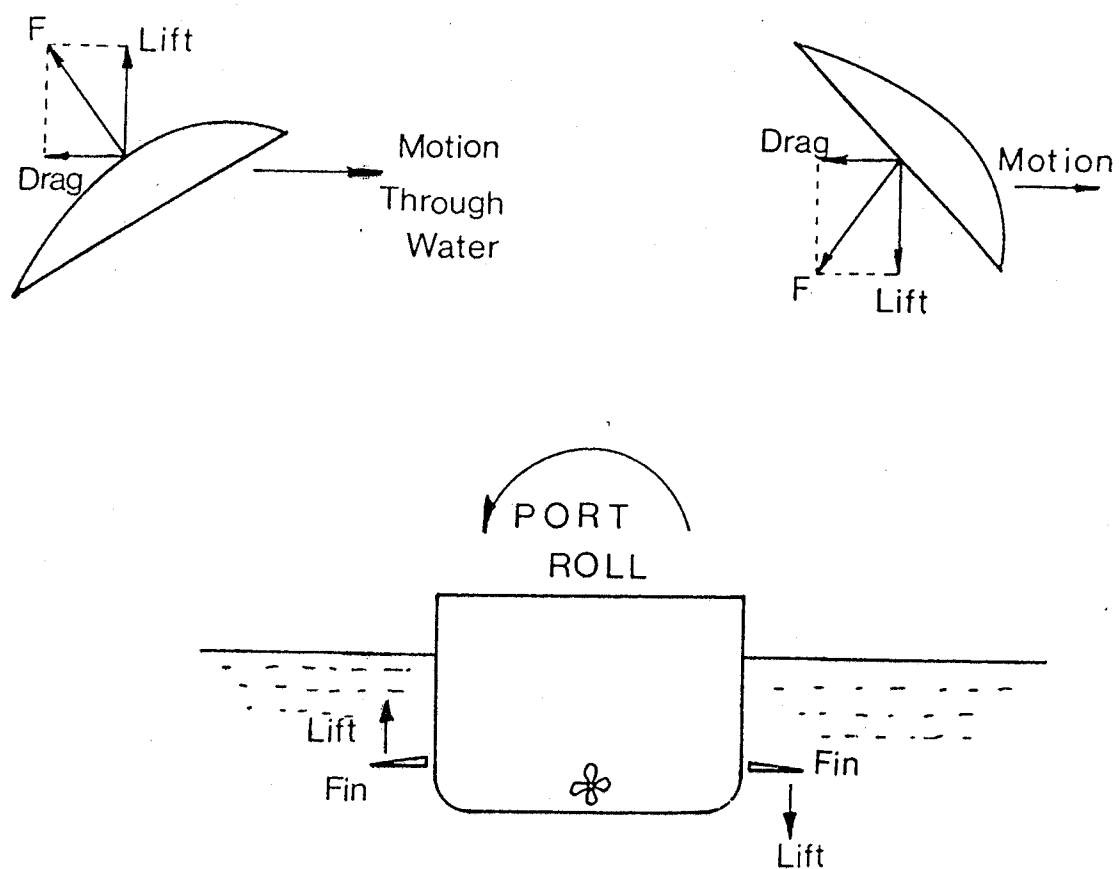
memberikan sumbangan pada aksi gerak roll kapal. Tetapi jika tidak ada gerakan-gerakan lebih jauh maka gerak roll akan berhenti, sehingga gerakannya disebut osilasi yang teredam. Stabilisasi roll dimaksudkan untuk meningkatkan redaman dari gerak roll kapal. Pengurangan pada rolling kapal akan menambah kenyamanan penumpang maupun ABK, mengurangi jam orang yang hilang karena cuaca buruk, mengurangi kerusakan pada muatan dan badan kapal serta memudahkan pengemudian.

Bilge keel yang kecil hanya dapat mengurangi gerak roll sedikit saja, sedangkan bilge keel yang besar sangat menambah tahanan kapal. Bilge keel termasuk dalam sistem stabilisasi pasif, karena tidak menggunakan sumber energi yang terpisah dan tidak terdapat sistem kontrol yang khusus, untuk melawan gerak roll. Contoh yang lain adalah sistem stabilisasi tanki pasif. Sistem stabilisasi pasif tidak akan dibahas disini.

Fin yang kecil, yang biasanya dapat ditarik masuk kedalam badan kapal (retracted) dapat mengurangi rolling yang cukup besar, jika dioperasikan dan diatur pada sudut yang tepat. Penggunaan fin stabiliser merupakan contoh dari sistem stabilisasi aktif. Sistem aktif juga memakai teknik kontrol untuk mengetahui gerak rolling dan untuk menghitung besarnya momen pengembali.

1.3. PRINSIP DARI SISTEM PENGGERAK FIN

Jik sebuah bidang ditarik dalam air pada sudut θ , dengan arah sesuai gerakan air, suatu gaya R akan bereaksi pada arah tegak lurus pada bidang. Gaya ini dapat dipecah menjadi dua komponen yaitu drag D , yang sejajar dengan garis gerakan dan gaya lift L , yang tegak lurus garis gerakan. Gamabr 3.2 menunjukkan penampang lintang kapal dilihat dari arah belakang, dengan kapal mengalami roll ke kiri. Fin pada sebelah kanan dinaikkan dan menghasilkan gaya Lift pada arah ke atas, sedangkan fin sebelah kiri diturunkan dan menghasilkan gaya L ke arah bawah yang sama besar. Kedua gaya ini membentuk kopel yang melawan gerak rolling kapal sehingga rolling dapat diredam. Disini suatu kontroler sangat mutlak dibutuhkan untuk mengatur sebelah mana yang harus dinaikkan dan sebelah mana yang harus diturunkan dan untuk menghasilkan efisiensi yang optimal dalam operasinya.



Gambar 3.2 : Aksi gerakan fin

B A B IV

MODEL MATEMATIK DAN TRANSFER FUNCTION SYSTEM

Beberapa sistem dinamik, seperti sistem hidrolik, mekanik, thermal, dan sebagainya, dapat dikarakterisasikan dengan persamaan deferensial. Respon suatu sistem dinamik terhadap suatu masukan (atau fungsi penggerak) dapat diperoleh dengan menyelesaikan persamaan diferensial tersebut. Persamaan tersebut dapat diperoleh dengan menggunakan beberapa hukum fisika yang berlaku pada sistem yang ditinjau, misalnya Hukum Bernaulli untuk sistem hidrolik, Hukum Newton untuk sistem mekanik, dan sebagainya.

Deskripsi matematik dari karakteristik dinamik suatu sistem disebut Model Matematik. Langkah pertama dalam analisa suatu sistem dinamik adalah menurunkan model matematiknya. Harus selalu kita ingat bahwa menurunkan model matematik adalah bagian yang paling penting dari keseluruhan analisis.

Dalam mencari model matematik sistem kontrol fin stabiliser ini, pembahasan dipisahkan menjadi dua bagian yaitu sistem permesinan fin dan sistem sabilisasi kapalnya.

Gambaran sederhana sistem stabilisasi kapal dengan menggunakan fin stabiliser dapat digambarkan dengan block

diagram pada gambar 4.1 . Pada block diagram tersebut A merupakan transfer function dari kapal dan B merupakan transfer function dari stabiliser. Kapal dapat dipresentasikan dengan persamaan sistem orde 2 dengan koefisien linier, yang dinyatakan oleh :

$$A = \frac{\theta(s)}{\gamma(s)} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta \omega_n s + \omega_n^2} \quad (4.1)$$

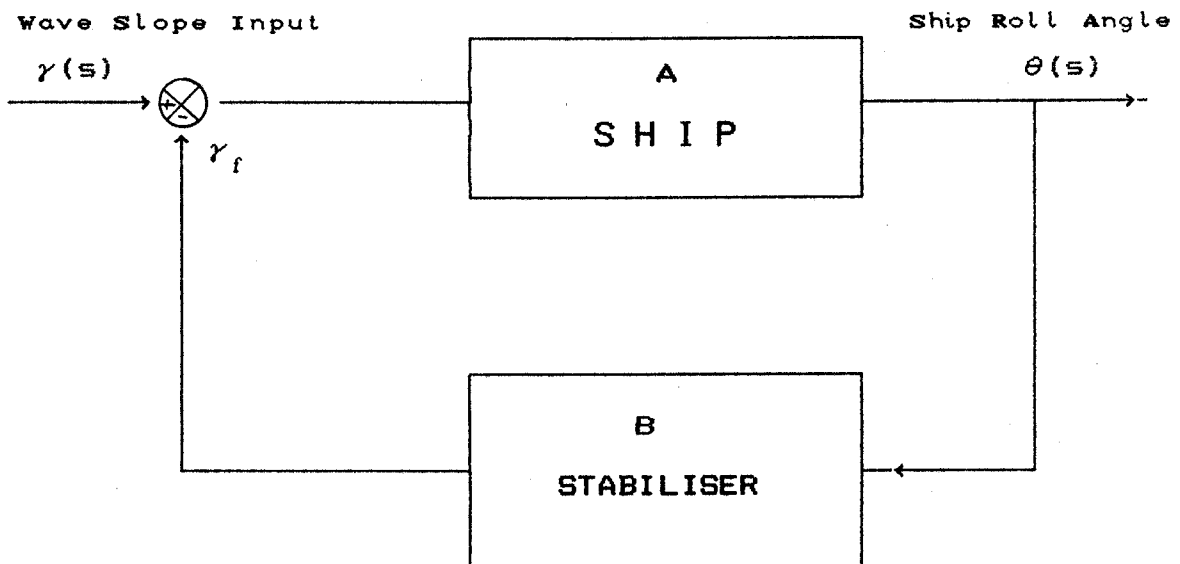
dimana : $\theta(s)$ = Sudut roll kapal (derajat)

$\gamma(s)$ = Total gangguan roll (derajat)

s = Laplace operator

ζ = Damping ratio

ω_n = Frekuensi natural kapal



Gamabr 4.1 : Block diagram stabilisasi kapal yang disederhanakan

Sehingga dengan melihat gambar block diagram diatas, maka dapat ditentukan tansfer functionnya adalah :

$$\frac{\theta(s)}{\gamma(s)} = \frac{A}{1 + AB}$$

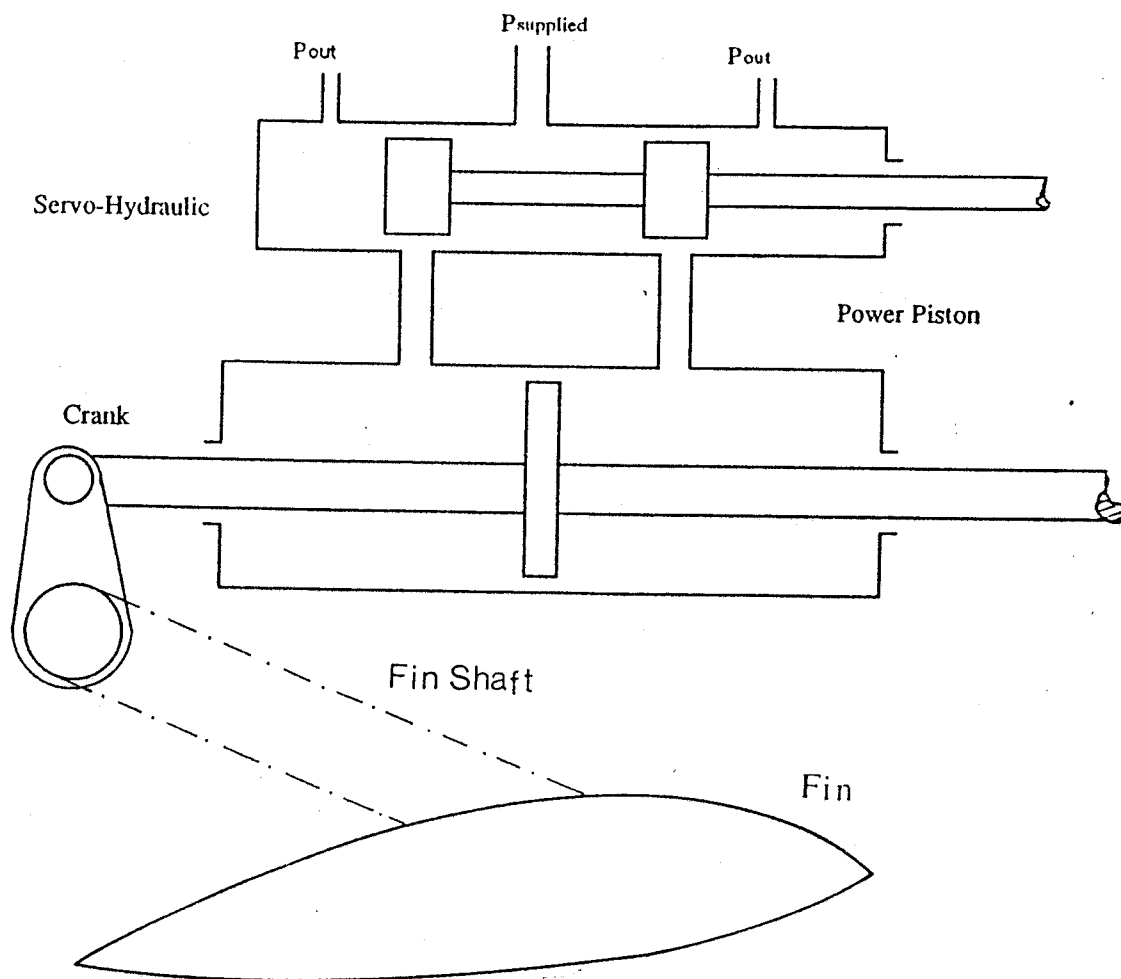
4.1. MODEL MATEMATIK PERMESINAN FIN STABILISER

Mekanisme penggerak fin stabiliser menggunakan sistem hidrolik tekanan tinggi modern dan aktuator linier, sehingga dapat menghemat ruang, seperti pada gambar 4.2 .

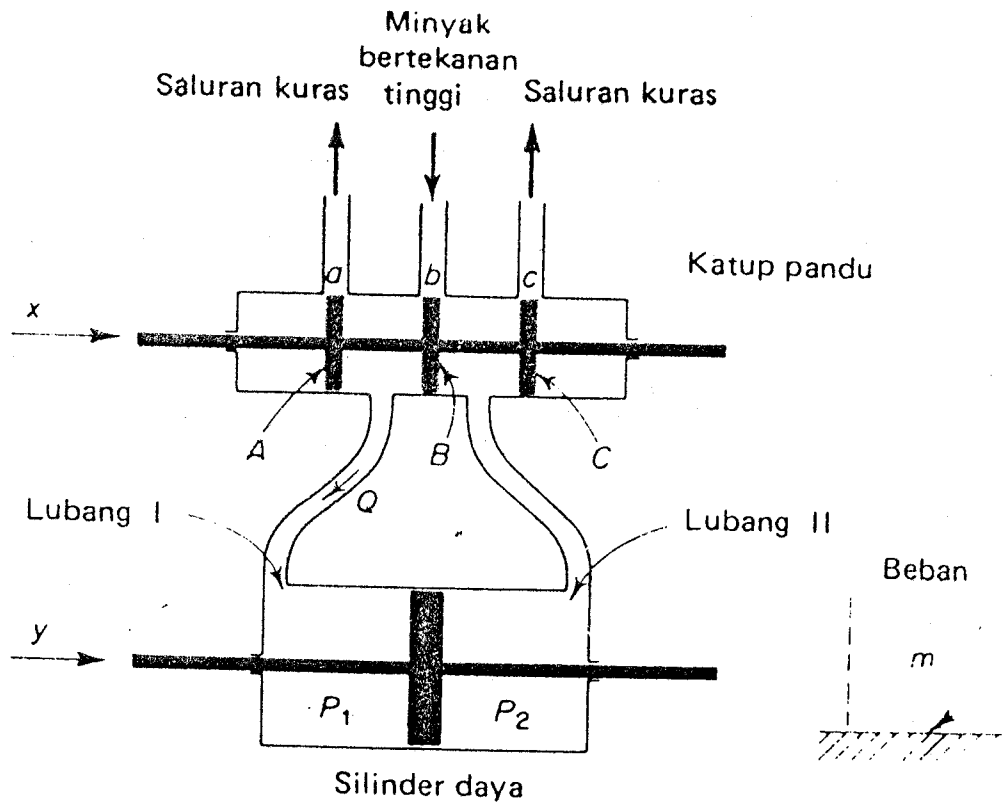
Untuk menentukan transfer function overall dari mekanisme penggerak fin, sistem-sistem ini dapat dianalisa secara terpisah sebagai berikut :

4.1.1. Motor Servo-Hidrolik

Pada dasarnya motor servo-hidrolik merupakan penguat daya hidrolik dengan pengontrolan katup pandu dan aktuator. Katup pandu adalah suatu katup imbang, dalam arti bahwa semua gaya tekan yang bekerja padanya adalah seimbang. Keluaran daya yang sangat besar dapat dikontrol dengan katup pandu yang posisinya dapat disetel dengan daya yang sangat kecil.



Gambar 4.2 : Mekanisme Penggerak Fin



Gambar 4.3 : Diagram skematik motor servo-hidrolik

Operasi motor servo-hidrolik ini adalah sebagai berikut:
 Jika katup pandu digerakkan ke kanan maka lubang I dihubungkan dengan lubang catu, dan minyak bertekanan masuk ke dalam ruang di sebelah kiri piston daya. Karena lubang II dihubungkan dengan lubang kuras, maka minyak di sebelah

kanan piston daya keluar kembali. Minyak yang mengalir ke dalam silinder daya mempunyai tekanan yang tinggi sedangkan minyak yang keluar dari silinder daya mempunyai tekanan yang rendah. Beda tekanan yang dihasilkan pada kedua sisi piston akan menyebabkan piston bergerak ke kanan. Minyak yang kembali ke saluran kuras ditekan dengan sebuah pompa, kemudian disirkulasikan lagi di dalam sistem. Jika katup pandu digerakkan ke kiri maka piston daya akan bergerak ke kiri.

Dalam praktek lubang a , b , dan c yang ditunjukkan pada gambar 4.3 seringkali dibuat lebih lebar dari pada katup A, B, dan C. Dalam hal ini selalu terjadi kebocoran pada katup. Hal ini akan memperbaiki baik kepekaan maupun kelinieran motor servo-hidrolik. Kita akan menggunakan anggapan ini pada analisis berikut.

Selanjutnya kita definisikan :

Q = Laju aliran minyak ke silinder daya, [kg/det].

$\Delta P = P_2 - P_1$ = beda tekanan pada piston daya, [N/m^2].

x = Perpindahan katup pandu, [m].

Pada gambar 4.3, dapat kita lihat bahwa Q merupakan fungsi dari x dan ΔP . Pada umumnya, hubungan antara variabel Q , x , dan ΔP diberikan oleh suatu persamaan nonlinier :

$$Q = f(x, \Delta P)$$

Dengan linierisasi persamaan nonlinier ini didekat titik kerja normal Q , x , ΔP , kita peroleh :

$$Q - Q = K_1(x - x) - K_1(\Delta P - \Delta P) \quad (4-2)$$

dimana :

$$Q = f(x, \Delta P)$$

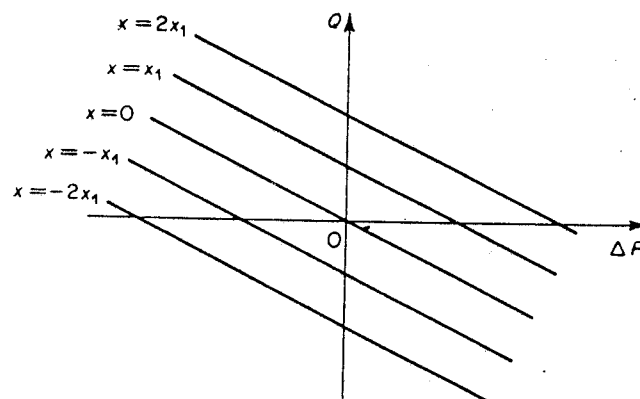
$$K_1 = \left. \frac{\partial Q}{\partial x} \right|_{x=x, \quad P=P}$$

$$K_2 = - \left. \frac{\partial Q}{\partial \Delta P} \right|_{x=x, \quad P=P}$$

Perhatikan bahwa untuk sistem ini, kondisi kerja normalnya adalah $Q = 0$, $x = 0$, dan $\Delta P = 0$. Sehingga dari persamaan (4-2) kita peroleh :

$$Q = K_1 x - K_2 \Delta P \quad (4-3)$$

Gambar 4.4 menunjukkan hubungan antara Q , x , dan ΔP yang dilinierkan ini. Garis-garis lurus yang ditunjukkan adalah kurva karakteristik motor servo-hidrolik yang dilinierkan. Keluarga kurva ini terdiri dari garis-garis lurus sejajar dengan jarak antara yang sama, dengan parameter x .



Gambar 4.4 : Kurva karakteristik motor servo-hidrolik yang dilinierkan

Dengan memperhatikan gambar 4.3, kita lihat bahwa laju aliran minyak Q [kg/det] kali waktu dt [det] sama dengan perpindahan piston daya dy [m] kali luas piston A [m²] kali rapat massa minyak ρ [kg/m³]. Jadi kita peroleh :

$$A \rho dy = Q dt \quad (4-4)$$

Perhatikan bahwa untuk suatu laju aliran Q , makin besar A , kecepatan dy/dt akan menjadi semakin kecil. Oleh karena itu, jika luas piston A diperkecil, sedangkan variabel-variabel lainnya konstan, maka kecepatan dy/dt menjadi semakin tinggi. Kenaikan laju aliran Q juga akan menimbulkan kenaikan kecepatan piston daya dan akan membuat waktu respon menjadi lebih singkat.

Persamaan (4-3) dapat juga ditulis sebagai :

$$\Delta P = \frac{1}{K} (K_1 x - A \rho dy/dt)$$

Gaya yang dibangkitkan oleh piston daya sama dengan beda tekanan ΔP kali luas piston A , atau :

$$\begin{aligned} \text{Gaya yang dibangkitkan oleh piston daya} &= A \cdot \Delta P \\ &= \frac{A}{K} (K_1 x - A \rho dy/dt) \end{aligned}$$

Untuk suatu gaya maksimum, jika beda tekanan cukup tinggi, maka luas piston atau volume minyak dalam silinder, dapat dibuat kecil. Akibatnya untuk meminimumkan berat kontroler, maka tekanan catu harus dibuat cukup tinggi.

Anggap bahwa piston daya memindahkan suatu beban yang terdiri dari massa dan gesekan viskos. Selanjutnya gaya yang

dibangkitkan oleh piston daya dikenakan pada massa dan gesekan beban, sehingga kita peroleh :

$$m\ddot{y} + f\dot{y} = \frac{A}{K_2} (K_1x - A\rho y)$$

atau

$$m\ddot{y} + \left[f + \frac{A^2\rho}{K_2} \right] \dot{y} = \frac{AK_1}{K_2} x \quad (4-5)$$

dimana m adalah massa [kg-det²/m] dari beban dan f adalah koefisien gesekan viskos [N-det/m].

Dengan menganggap bahwa perpindahan x dari katup pandu adalah masukan, dan perpindahan y dari piston daya adalah keluaran, dari persamaan (4-5) kita peroleh Transfer Function untuk motor servo-hidrolik adalah :

$$\begin{aligned} \frac{Y(s)}{X(s)} &= \frac{1}{\left[\left(\frac{mK_2}{AK_1} \right) s + \frac{fK_2}{AK_1} + \frac{A\rho}{K_1} \right]} \\ &= \frac{K}{(Ts + 1)} \end{aligned}$$

atau dapat ditulis :

$$= \frac{K_{sh}}{(T_{sh} s + 1)} \quad (4-6)$$

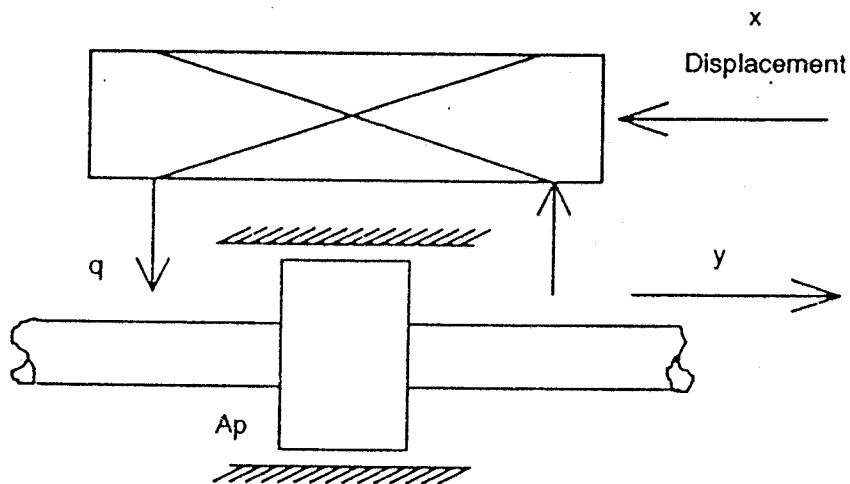
dimana :

K_{sh} = Konstanta penguatan servo-hidrolik

T_{sh} = Konstanta waktu servo-hidrolik

4.1.2. Ram Actuator atau Piston Daya

Berdasarkan pada pembahasan sebelumnya, laju aliran minyak Q , harus sama dengan luas penampang piston daya A , dikalikan dengan kecepatan piston dy/dt . Sehingga untuk menentukan transfer function dari peralatan ini kita dapat menganalisa gambar 4.5.



Gambar 4.5 : Ram Actuator atau Power Piston

Laju aliran yang disupply ke silinder daya tiap unit displacement dinyatakan oleh :

$$Q \cdot x = A \cdot dy/dt \quad (4-7)$$

dimana :

x = Displacement dari aktuator

Maka transfer function dari sistem adalah :

$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{Q}{A} \cdot \frac{1}{s} \quad (4-8)$$

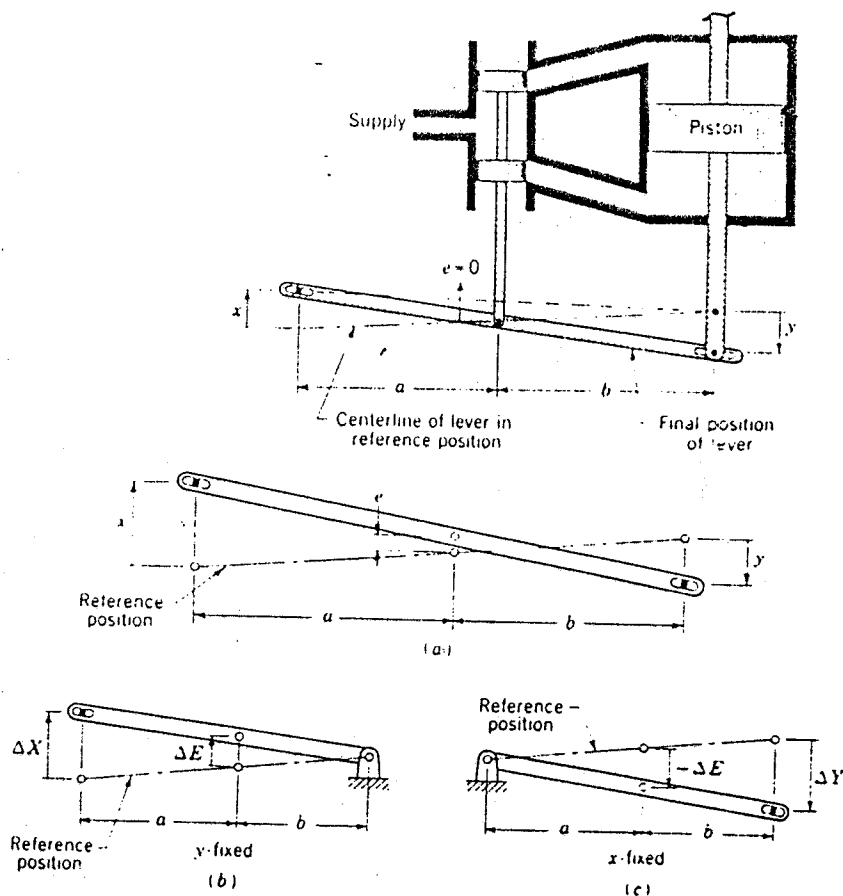
Sehingga ram aktuator ini adalah integrator yang penting.

4.1.3. Feed Back (Umpan Balik)

Mekanisme feed back yang diperkenalkan disini adalah hubungan sistem servo-hidrolik dengan mekanisme batang penghubung (walking beam) ABC. Batang ini menghubungkan posisi input x , posisi katup e , dan posisi piston y . Pada saat e nol, katup berada pada keadaan "line on line" dan tidak ada aliran yang masuk ke atau keluar dari silinder daya.

Pengoperasian servo-hidrolik ini dapat digambarkan sebagai berikut : Bila input x dirubah dari posisi referensinya walking beam mula-mula berputar sekitar sambungan pada y , karena gaya-gaya besar yang mengenai piston menahan pada tempatnya untuk sementara. Posisi

walking beam seperti ini ditunjukkan dengan garis putus-putus pada gambar 4.6. Karena gerakan yang bersesuaian dari e , maka katup akan membuka dan fluida mengalir ke silinder daya untuk menggerakkan piston pada arah yang membuat e nol. Posisi akhir dari walking beam, dimana e adalah nol lagi dan piston telah bergerak sejauh y , dapat dilihat pada gambar 4.6.



Gambar 4.6 : Servo-Hydraulic with Walking Beam Linkage

Karena batang diputar pada pusat B, displacement dari e_1 pada C dapat ditentukan oleh :

$$\frac{x}{(a + b)} = \frac{e_1}{b}$$

sehingga :

$$e_1 = \frac{b}{(a + b)} \cdot x \quad (4-9)$$

Pada saat batang diputar dengan pusat A, displacement dari e_2 adalah :

$$\frac{y}{(a + b)} = \frac{e_2}{a}$$

sehingga,

$$e_2 = \frac{a}{(a + b)} \cdot y \quad (4-10)$$

sehingga dengan mengkombinasikan persamaan (4-9) dan (4-10) displacement total Δe pada C didapatkan :

$$\Delta e = e_1 - e_2 = \frac{b}{(a + b)} \cdot x - \frac{a}{(a + b)} \cdot y \quad (4-11)$$

Persamaan untuk kombinasi katup dan piston diberikan pada persamaan (4-8) dimana x digantikan dengan Δe sehingga:

$$y = \frac{Q}{A S} \cdot \Delta e$$

Transfer function antara y dan x diberikan oleh :

$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{(b/a)}{\left[\frac{A(a+b)}{aQ} \right] S + 1} \quad (4-12)$$

dimana b/a adalah konstanta penguatan servo-hidrolik ($= K_{sh}$)

dan $\frac{A(a+b)}{aQ}$ adalah konstanta waktu (T_{sh}).

Sehingga transfer function dari servo-hidrolik kita peroleh :

$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{K_{sh}}{(T_{sh}S + 1)} \quad (4-13)$$

Terlihat bahwa hasilnya adalah sama seperti pada persamaan (4-6).

4.1.4. Crank

Crank digunakan untuk mengkonversi gerakan aksial dari piston ke dalam gerakan rotasional dari poros fin (fin shaft). Tetapi penyeimbangan crank harus diperhatikan berkaitan dengan kebisingan dan fenomena getaran.

Untuk mendapatkan transfer function dari crank, kita dapat menyederhanakan kerja crank seperti prinsip gear. Hal ini dapat kita lihat pada gambar 4.7.

Hubungan antara displacement Ram dan sudut fin shaft yang dihasilkan, dapat ditunjukkan sebagai :

$$\frac{y}{2\pi r} = \frac{\theta}{2\pi}$$

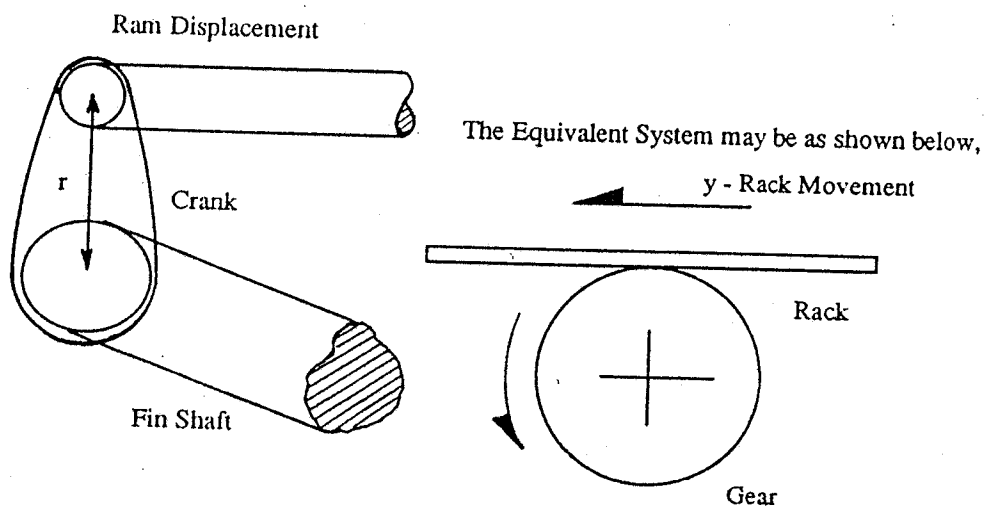
sehingga :

$$\frac{\theta(s)}{Y(s)} = \frac{1}{r} = \text{constan} \quad (4-14)$$

dimana : $\theta(s)$ = Sudut fin shaft yang dihasilkan (output)

$Y(s)$ = Ram displacement (input)

r = Jari-jari girasi dari crank



Gambar 4.7 : Mekanisme Crank

4.1.5. Pemodelan Gaya Angkat Fin (Fin Lift)

Rumus Wicker dapat digunakan untuk memperkirakan kemiringan kurva Koefisien Lift untuk fin, yaitu :

$$\frac{\partial C_L}{\partial \beta} = \frac{1,8\pi a_e}{\cos \Omega [a_e^2 \sec^2 \Omega + 4]^{1/2} + 1,8} \quad (4-15)$$

dimana : a_e = Aspek rasio efektif dari fin

Ω = Sudut sweep dari garis quarter fin

β = Sudut fin [radian]

Gaya angkat dari fin L , bisa didapatkan dengan menggunakan persamaan berikut :

$$L = C_L \cdot \frac{\rho}{2} \cdot A_f \cdot V^2 \quad (4-16)$$

dimana : L = Gaya angkat fin

C_L = Koefisien lift dari fin

ρ = Rapat massa air laut

A_f = Luas dari fin

V = Kecepatan kapal

Karena a_e , Ω , ρ , A_f dan V adalah konstan , maka transfer function dari fin diberikan oleh :

$$\frac{L(s)}{\beta(s)} = \frac{K_F}{s} \quad (4-17)$$

Dimana K_r adalah konstanta penguatan total dari fin stabiliser, dan $\frac{1}{s}$ adalah integrator.

B A B V

UNIT PENGONTROLAN (CONTROL UNIT)

Kontroler otomatis berfungsi untuk membandingkan harga yang sebenarnya dari keluaran sistem dengan harga yang diinginkan, menentukan deviasi dan menghasilkan suatu sinyal kontrol yang akan memperkecil deviasi sampai nol atau sampai suatu harga yang terkecil.

Cara kontroler menghasilkan sinyal kontrol disebut Aksi pengontrolan (Control Action).

Kontroler otomatis dapat diklasifikasikan sesuai dengan aksi pengontrolannya sebagai berikut :

1. Kontroler Dua posisi atau " on-off "
2. Kontroler Proporsional (P)
3. Kontroler Integral (I)
4. Kontroler Proporsional plus Integral (PI)
5. Kontroler Proporsional plus Derivative (PD)
6. Kontroler Proporsional plus Derivative plus Integral (PDI)

Kontroler juga dapat diklasifikasikan sesuai dengan jenis sumber daya yang digunakan dalam operasinya, yaitu : Kontroler Hidrolik, Kontroler Pneumatik, dan Kontroler Elektronik.

Pada bab ini hanya beberapa jenis kontroler yang akan dibahas dan diterapkan pada sistem dan yang akan dianalisa bagaimana pengaruhnya terhadap performansi sistem.

5.1. UNIT CONTROL dari PERMESINAN FIN STABILISER

5.1.1. Aksi Kontrol Proporsional

Bentuk paling sederhana dari kontroler adalah dimana sinyal error $e(t)$, dikalikan dengan konstanta K_p , untuk mendapatkan sinyal yang disebut variabel yang dimanipulasi (manipulated variable) $m(t)$, yang merupakan sinyal input dari proses. Nilai Numerik dari konstanta K_p ini menentukan jumlah usaha koreksi yang diterapkan untuk besarnya kesalahan tertentu (yang diberikan). Pengaturan ini disebut kontrol Proporsional, dan dengan memvariasikan nilai K_p , perilaku dinamis dari keseluruhan sistem dapat dibedakan.

Hubungan antara output dari kontroler proporsional $m(t)$, dan sinyal kesalahan penggerak $e(t)$, adalah :

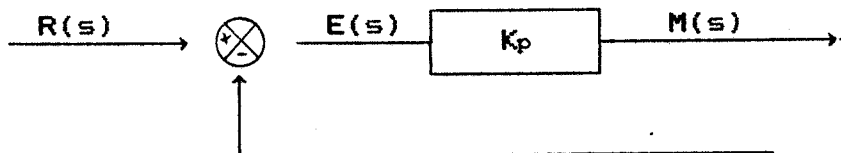
$$m(t) = K_p \cdot e(t) \quad (5-1)$$

atau dalam besaran Transformasi Laplace :

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p \quad (5-2)$$

dimana K_p adalah kepekaan atau penguatan proporsional.

Apapun wujud mekanisme yang sebenarnya dan apapun daya penggerakannya, kontroler proporsional pada dasarnya merupakan penguat dengan penguatan yang dapat diatur. Block Diagram kontroler proporsional ditunjukkan pada gambar 5.1.



Gambar 5.1 : Block diagram kontroler proporsional

Misalnya Gyroscopic merupakan kontroler proporsional, sinyal kontrol akan mengakibatkan fin-fin untuk bergerak yang besarnya proporsional terhadap selisih antara sudut roll sebenarnya dengan sudut roll yang diinginkan.

5.2. Aksi Kontrol Integral (Integral Control Action)

Pada kontroler dengan aksi kontrol Integral, harga keluaran kontroler $m(t)$, dirubah dengan laju yang sebanding dengan sinyal kesalahan penggerak. Jadi :

$$\frac{dm(t)}{dt} = K_i \cdot e(t) \quad (5-3)$$

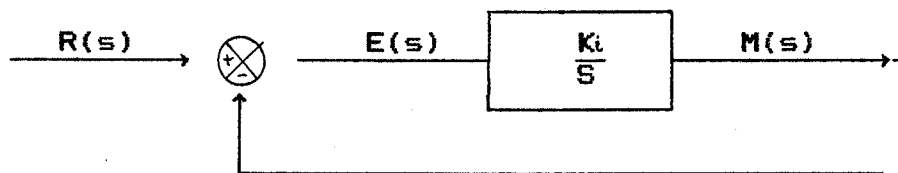
atau

$$m(t) = K_i \int_c^t e(t) dt \quad (5-4)$$

dimana K_i adalah konstanta integral yang dapat diatur. Transfer function dari kontroler integral adalah :

$$\frac{M(s)}{E(s)} = \frac{K_i}{s} \quad (5-5)$$

Jika harga $e(t)$ diduakalikan, maka harga $m(t)$ berubah dengan laju perubahan menjadi duakali semula. Jika harga $e(t)$ nol, maka harga $m(t)$ tetap stasioner.



Gambar 5.2 : Block diagram kontroler integral

5.1.3. Aksi Kontrol Turunan (Derivative Control Action)

Aksi kontrol turunan tidak pernah dapat digunakan sendirian, karena aksi kontrol ini hanya efektif selama periode transien. Hubungan antara sinyal kontrol $m(t)$ dengan sinyal kesalahan penggerak $e(t)$ adalah :

$$m(t) = K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (5-6)$$

dimana K_d adalah konstanta derivative yang dapat diatur.

Aksi kontrol turunan mempunyai keuntungan mengantisipasi pada saat suatu aksi terjadi, tetapi juga mempunyai kelemahan yaitu memperkuat sinyal desing (noise) sehingga dapat menimbulkan pengaruh saturasi pada aktuator.

5.1.4. Aksi Kontrol Proporsional plus Integral

Aksi kontrol dari kontroler proporsional plus integral (PI) didefinisikan dengan persamaan berikut :

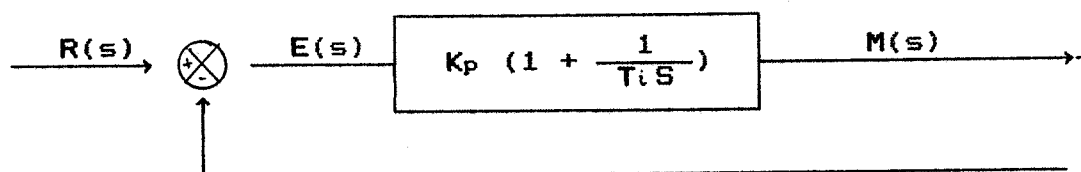
$$m(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_c^t e(t) dt \quad (5-7)$$

atau transfer function kontroler adalah :

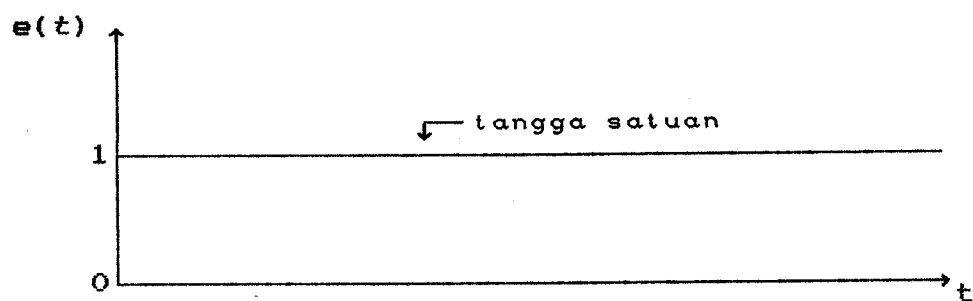
$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right) \quad (5-8)$$

dimana K_p merupakan penguatan proporsional dan T_i menyatakan waktu integral. Baik K_p maupun T_i dapat diatur.

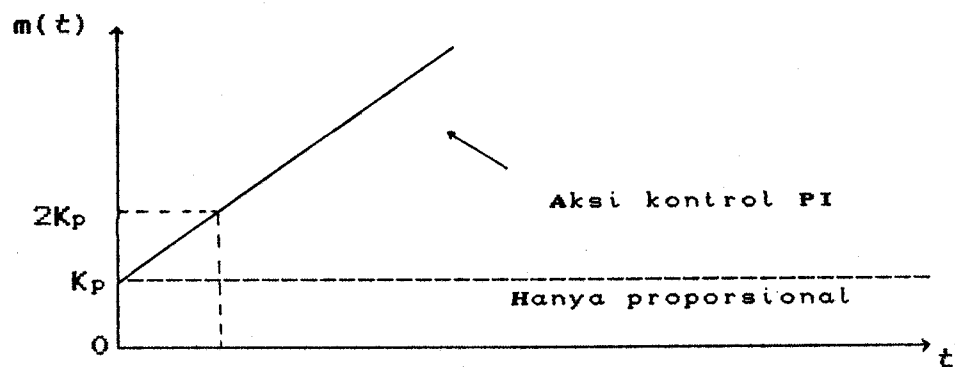
Gambar 5.3(a) menunjukkan block diagram kontroler proporsional plus integral (PI). Jika sinyal kesalahan penggerak $e(t)$ adalah fungsi tangga satuan, seperti ditunjukkan pada gambar 5.3(b), maka keluaran kontroler $m(t)$ menjadi seperti pada gambar 5.3(c).



(a)



(b)



(c)

Gambar 5.3 : Block diagram kontroler PI

5.2. UNIT KONTROL SISTEM STABILISASI KAPAL

Dalam design ini sistem stabilisasi kapal telah dikembangkan dan dilengkapi dengan gyroscopic sebagai satu-satunya sensor. Sinyal output elektris yang keluar dari gyroscopic diperkuat dan dirubah menjadi displacement aksial.

Pada sistem ini unit kontrol memakai dua kondisi aksi kontrol yaitu aksi kontrol Proporsional plus Derivative (PD). Aksi kontrol dari kontroler PD ini didefinisikan dengan persamaan berikut :

$$m(t) = K_p e(t) + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (5-12)$$

dan transfer function dari kontroler ini adalah :

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p (1 + T_d s) \quad (5-13)$$

atau dalam sistem ini dapat ditulis :

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_{gc} (1 + T_{cu} s) \quad (5-14.a)$$

dimana :

K_{gc} = Konstanta pengautan gyroscopic

T_{cu} = Konstanta waktu kontroler (control unit)

s = Integrator

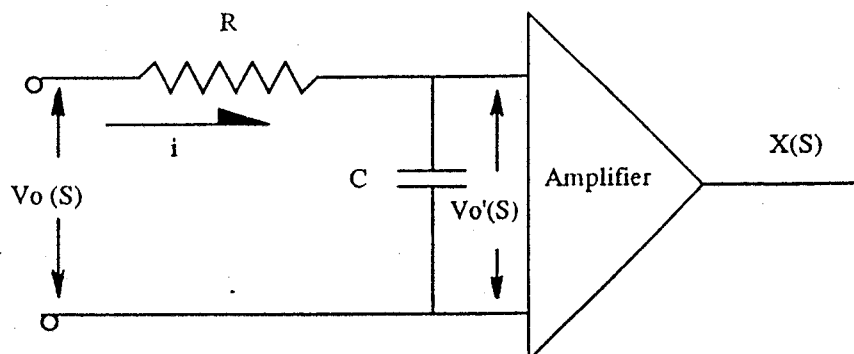
Lebih jauh nantinya, performansi dari kontroler dua kondisi (PD) diatas akan dibandingkan dengan kontroler satu kondisi yaitu kontroler proporsional, untuk mendapatkan type kontroler mana yang dapat memenuhi persyaratan kestabilan sistem.

Disini gyroscopic bekerja seperti kontroler proporsional yang mempunyai tansfer function :

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_1 \quad (5-14.b)$$

dimana K_1 adalah konstanta penguatan dari kontroler proporsional.

Sinyal ouput listrik dari gyroscopic diantisipasi oleh Jaringan kerja pasif dan Amplifier (Passive Network dan Amplifier), yang mengubah sinyal-sinyal listrik tersebut menjadi displacement aksial, $X(s)$. Untuk menentukan tansfer function dari passive network dan amplifier, dapat kita analisa dari gambar 5.4.



Gambar 5.4 : Passive network and Amplifier

●► Passive Network

$$V_o(S) - V_o'(S) = i \times R \quad (5-15.a)$$

dan

$$V_o'(S) = \frac{i}{CS} \quad (5-15.b)$$

sehingga,

$$i = V_o'(S) C S \quad (5-16)$$

dengan mengeliminasi i , didapat :

$$V_o(S) - V_o'(S) = V_o'(S) R C S$$

$$V_o(S) = (1 + RCS) V_o'(S)$$

sehingga didapat :

$$\frac{V_o(S)}{V_o'(S)} = \frac{1}{1 + RCS} \quad (5-17)$$

dimana RC adalah konstanta waktu dari passive network ($=T_{pn}$).

► Amplifier

$$V_o' \sim X(S) \quad (5-18)$$

sehingga,

$$\frac{X(S)}{V_o'(S)} = K_{amp} \quad (5-19)$$

Dan transfer function overall dari passive network dan amplifier dapat diperoleh :

$$\frac{X(S)}{V_o(S)} = \frac{V_o'(S)}{V_o(S)} \times \frac{X(S)}{V_o'(S)} = \frac{K_{amp}}{(1 + T_{pn}S)} \quad (5-20)$$

dimana K_{amp} adalah konstanta penguatan dari amplifier.

Perbandingan performansi dari kedua kontroler yakni kontroler PD dan kontroler Proporsional akan dijelaskan pada bab berikutnya.

B A B VI

ANALISA RESPON TRANSIEN SISTEM

Pada bab ini akan dibahas penggunaan program paket (software) komputer, berkaitan dengan kestabilan dari sistem kontrol fin stabiliser dan sistem stabilisasi kapal yang dianalisa. Program-program komputer akan dibuat, karena semua konstanta telah didapat, dengan menggunakan paket software Advanced Continuous Simulation Language (ACSL). Pada sistem kontrol permesinan fin akan kita bandingkan antara aksi kontrol proporsional dengan aksi kontrol proporsional plus integral, sedangkan pada sistem stabilisasi kapal aksi kontrol proporsional plus derivative dengan aksi kontrol proporsional yang akan kita bandingkan, untuk mendapatkan type aksi kontrol yang mana yang memiliki periode rolling lebih pendek.

6.1. PENGENALAN PADA PAKET SOFTWARE KOMPUTER ACSL

Program ACSL dimaksudkan untuk menyediakan metode sederhana untuk menyajikan model matematik tersebut pada komputer digital. Berdasarkan dari penjelasan persamaan dari problem atau dari block diagram, pemakai menulis pernyataan-

pernyataan ACSL untuk menjelaskan sistem yang dianalisa. Perintah-perintah runtime mengontrol model, statement-statement tersebut dapat diarahkan untuk penyelesaian dalam mode batch atau dimasukkan secara interaktif. Secara interaktif simulasi dapat dijalankan, lihat pada hasilnya, dan ubah konstanta-konstanta eksperimen dengan model.

Hal yang penting dalam ACSL adalah pengelompokannya (sorting) dari persamaan-persamaan model yang kontinyu, yang berlawanan dengan bahasa pemrograman untuk tujuan umum seperti Fortran, dimana aksekusi program sangat tergantung pada urutan pernyataan. Struktur program ACSL dapat dilihat pada gambar 6.1.

6.2. ANALISA RESPON TRANSIEN SISTEM PERMESINAN FIN

Salah satu karakteristik yang paling penting dalam sistem kontrol adalah respon transien. Respon transien adalah respon sistem yang berlangsung dari keadaan awal sampai keadaan akhir, yang merupakan fungsi dari waktu. Karena tujuan dari sistem kontrol adalah untuk mendapatkan respon yang diinginkan, maka respon transien dari sistem kontrol sering harus diatur sehingga memuaskan.

Sistem kontrol loop tertutup (closed-loop control sistem) dapat digunakan dan diatur untuk mendapatkan respon yang diinginkan dengan mengatur parameter-parameter loop umpan balik.

PROGRAM**INITIAL**

Statements executed before the run begins.
Statements variables donot contain the
initial conditions yet.

END**DYNAMIC****DERIVATIVE**

Statements to be integrated continuously.

END**DISCRETE**

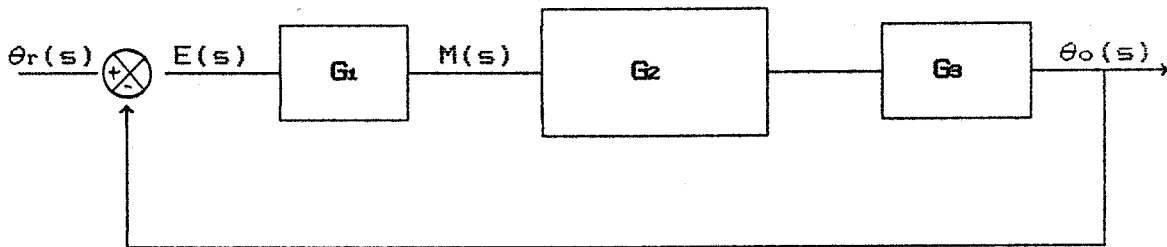
Statements executed at discrete points
in time.

END**END****TERMINAL**

Statements executed after the run termi-
nates.

END**END**

Gambar 6.1 : Outline struktur program ACSL



Gambar 6.2 : Closed-loop fin angle control system

dimana $\theta_r(s)$ adalah input referensi yang merupakan besarnya sudut fin yang diinginkan (sinyal dari gyroscopic), untuk mempertahankan kapal pada posisi yang memuaskan. $E(s)$ adalah sinyal error penggerak, yang merupakan selisih antara sinyal input dengan output. $M(s)$ adalah sinyal kontrol yang dihasilkan oleh kontroler, sedangkan $\theta_o(s)$ adalah sinyal output yang merupakan besaran sudut yang dihasilkan oleh proses.

6.2.1. Penerapan Kontroler Proporsional

Berdasarkan gambar 6.2 diatas, notasi-notasi G_1 , G_2 , dan G_3 adalah merupakan transfer function dari masing-masing komponen dari sistem kontrol permesinan fin. Dari perhitungan-perhitungan sebelumnya di bab 4 dan 5, kita peroleh transfer function dari masing-masing komponen tersebut.

Jika unit kontrol yang diterapkan untuk servo-hidrolik disini adalah kontroler proporsional saja, dari persamaan (5-2), transfer functionnya kita dapatkan :

$$G_1(s) = G_{cu}(s) = K_p \quad (6-1)$$

Kemudian untuk servo-hidroliknya, dari persamaan (4-6) atau juga persamaan (4-13), transfer functionnya kita peroleh :

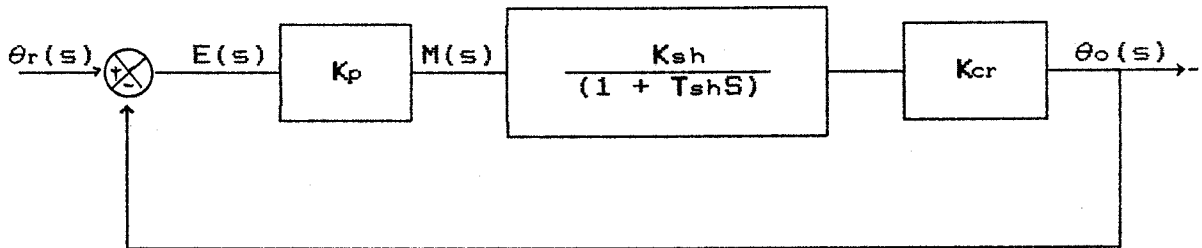
$$G_2(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{K_{sh}}{(1 + T_{sh}s)} \quad (6-2)$$

Sedangkan G_3 adalah koefisien yang dikonversikan dari besaran displacemen aksial dari aktuator ram $Y(s)$, kedalam besaran sudut fin yang dihasilkan $\theta_o(s)$. Dari persamaan (4-14) kita peroleh tansfer functionnya adalah:

$$G_3(s) = \frac{\theta_o(s)}{Y(s)} = K_{cr} \quad (6-3)$$

dimana harga dari K_{cr} tergantung jari-jari girasi (r) dari crank.

Sehingga kita dapat menggambarkan closed-loop system dari sistem kontrol sudut fin sebagai berikut :



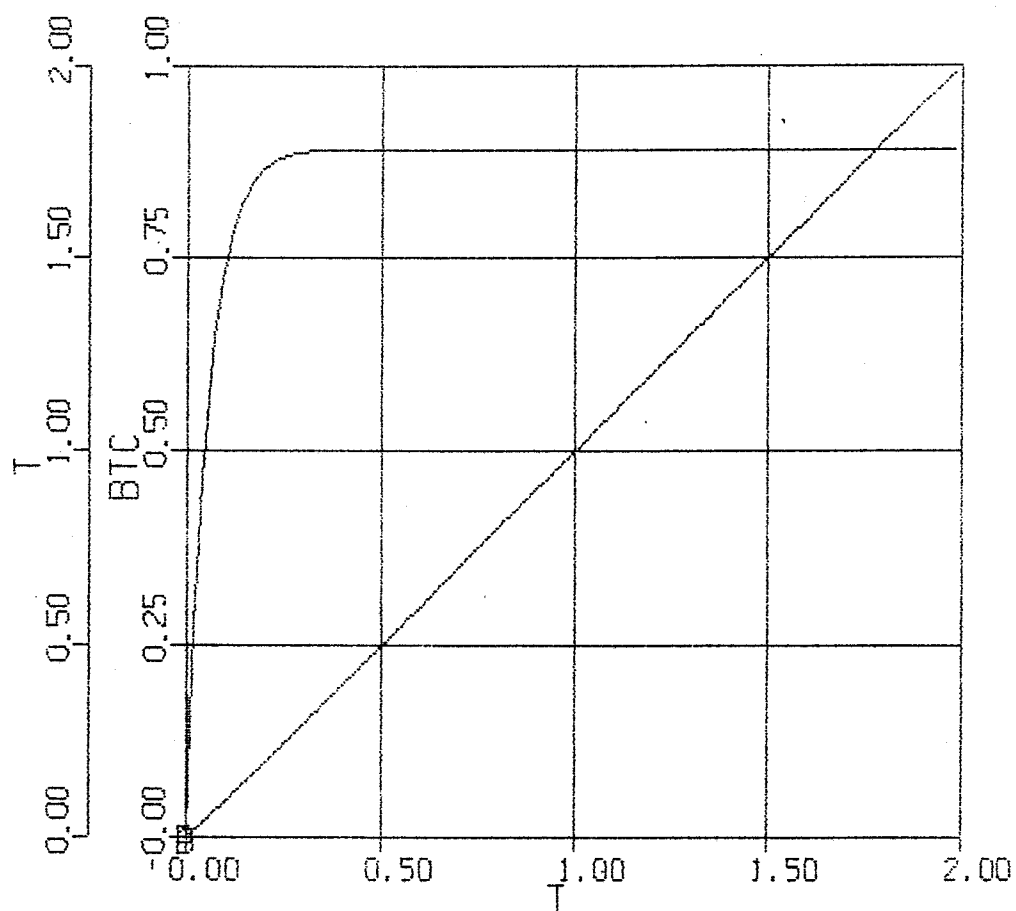
Gambar 6.3 : Closed-loop system dari sistem kontrol sudut fin dengan menerapkan kontroler proporsional

Respon transien dari sistem permesinan fin telah kita dapatkan dengan menggunakan program ACSL (lihat lampiran 1), yang dapat kita lihat pada gambar 6.4.

Berdasarkan pada gambar 6.4, terdapat error steady state pada gain yang dibutuhkan dari sudut fin. Dengan kata lain sudut fin yang diminta oleh gyroscopic tidak dapat terpenuhi, yang mengakibatkan pengurangan performansi sistem dan pada akhirnya akan mengakibatkan pengurangan performansi stabilitas kapal.

6.2.2. Penerapan Kontroler Proporsional plus Integral (PI)

Selanjutnya kita akan melihat performansi sistem yang lain dengan mengganti unit kontrolnya, yang semula hanya kontroler proporsional saja diganti dengan kontroler proporsional plus integral (PI). Dari persamaan (5-8), kita dapatkan tansfer functionnya adalah :



1 94/01/23 16:27:26

Gamabar 6.4 : Respon transien sistem permesinan fin dengan menggunakan kontroler Proporrional

$$G_1(s) = G_{cu}(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right)$$

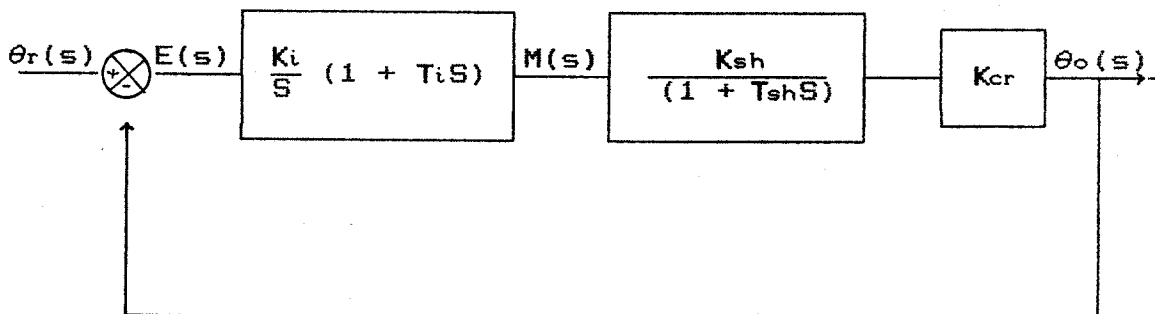
atau

$$G_1(s) = G_{cu}(s) = \frac{K_p}{T_i s} (1 + T_i s)$$

$$= \frac{K_i}{s} (1 + T_i s) \quad (6-4)$$

dimana K_i konstanta penguatan integral dan T_i adalah konstanta waktu integral.

Sehingga kita dapat menggambarkan closed-loop systemnya seperti pada gambar dibawah ini.



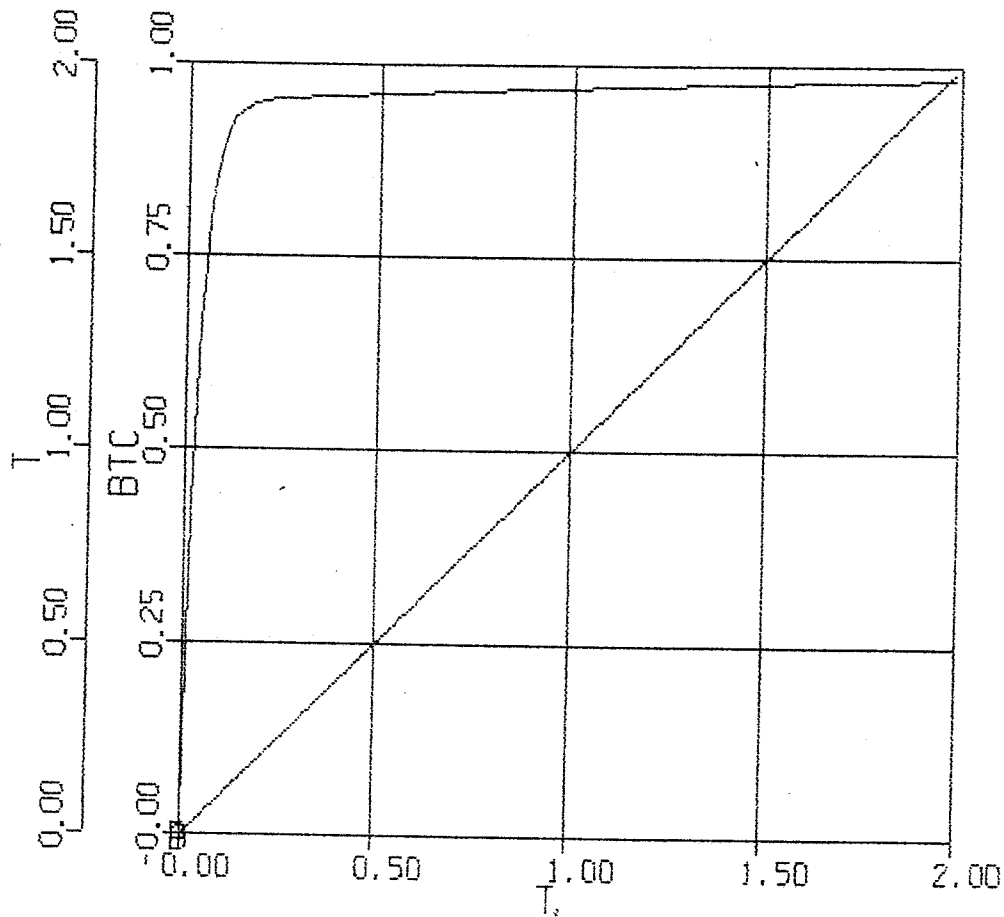
Gambar 6.5 : Closed-loop system dari sistem kontrol sudut fin dengan menerapkan kontroler P+I

Respon transien dari sistem ini juga sama di dapat dengan menggunakan program ACSL (lihat lampiran 2). Hasilnya seperti yang digambarkan pada gambar 6.6.

Berdasarkan pada gambar 6.6, menunjukkan bahwa penguatan dari sudut fin yang dikontrol dapat dicapai dalam waktu kira-kira 4 detik, dan juga tidak terdapat error steady state yang terjadi didalam respon transien dari sistem. Seperssepuluh pertama dari kenaikan waktunya, sudah dapat mencapai kira-kira 95 % dari gain sudut fin yang dikontrol. Hal ini menunjukkan kalau penerapan kontroler P+I adalah cukup baik untuk dipakai didalam sistem permesinan fin, yang mengarah pada performansi sistem stabilisasi kapalnya.

6.3. ANALISA RESPON TRANSIEN SISTEM STABILISASI KAPAL

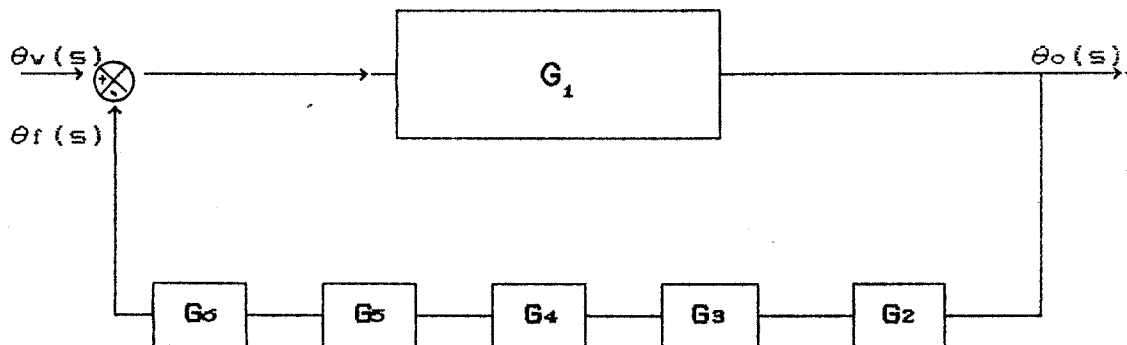
Pada bagian pengaruh dari gangguan gelombang laut terhadap sudut oleng (kemiringan) kapal akan kita analisa. Besarnya pengaruh gelombang yang bekerja terhadap kapal diasumsikan 20° (derajat), dari fungsi tangga satuan (unit step input), yang kemudian akan dikurangi dengan adanya fin stabiliser sampai sekecil mungkin. Pada umumnya, sistem stabilisasi roll kapal dengan fin aktif, terdiri dari unit kontrol, servo-hidrolik, mekanisme crank dan sepasang fin. Komponen-komponen tersebut telah dijelaskan pada bab-bab



1 94/01/23 16:43:00

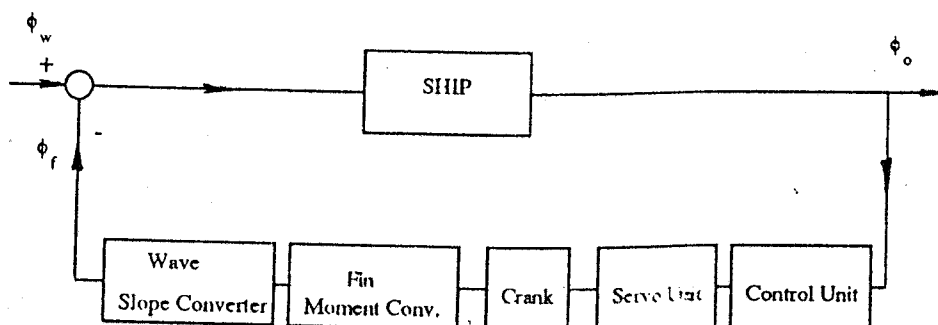
Gambar 6.6 : Respon transien sistem permesinan fin dengan menggunakan kontroler P+I

sebelumnya, yakni pada bab 4 dan 5. Secara keseluruhan sistem stabilisasi kapal dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 6.7 : Closed-loop system dari sistem fin stabiliser

atau dapat juga digambarkan sebagai berikut :



Gambar 6.8 : The general block diagram of fin stabiliser system

Dari gambar diatas, G_1 sampai dengan G_6 merupakan transfer function dari masing-masing komponen dari sistem fin stabiliser, yang dapat kita ketahui di dalam bab 4 dan 5.

Dalam analisa ini, unit kontrol yang akan diterapkan ada dua jenis kontroler yang akan kita bandingkan pengaruhnya terhadap performansi sistem, yaitu kontroler Proporsional plus Derivative (P+D) dengan kontroler Proporsional saja. Bagian berikut akan menunjukkan performansi dari dua kontroler tersebut, sehingga aksi kontrol yang mana yang baik akan kita pilih.

6.3.1. Penerapan Kontroler P+D

Untuk mencari atau mendapatkan respon transien dari sistem fin stabiliser kita dapat menganalisa gambar 6.9 dibawah ini. Dengan melihat kembali bab 4 dan 5, kita dapat memperoleh tansfer function dari masing-masing komponen dari sistem fin stabiliser tersebut. Kita ketahui $G_1(s)$ adalah tansfer function dari kapal. Dari persamaan (4-1) kita peroleh :

$$G_1(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (6-5)$$

G_2 adalah tansfer function dari unit kontrolnya.

Didalam sistem ini yang kita terapkan adalah kontroler P+D. Kita akan melihat bagaimana pengaruhnya terhadap performansi sistem. Jika sistem kontrol fin stabiliser adalah dengan kontrol sudut dan kecepatan rolling, maka unit kontrol dilengkapi juga dengan peralatan lain yaitu Passive Network and Amplifier. Dari persamaan (5-14.a) dan (5-20), kita bisa peroleh tansfer function dari unit kontrol adalah :

$$G_z(s) = \frac{K_{gc} K_{amp} (T_{cu}s + 1)}{(T_{pn}s + 1)} \quad (6-6)$$

G_3 adalah tansfer function dari servo-hidrolik. Dari persamaan (4-6) dan (4-13), tansfer functionnya kita dapatkan :

$$G_3(s) = \frac{K_{sh}}{(T_{sh}s + 1)} \quad (6-7)$$

G_4 adalah tansfer function dari mekanisme crank yaitu :

$$G_4(s) = K_{cr} \quad (6-8)$$

G_5 adalah tansfer function dari lengan momen fin. Dari persamaan (4-15), (4-16) dan (4-17), G_5 pada dasarnya adalah integrator sederhana yang diberikan oleh :

$$G_0(s) = \frac{K_f}{s} \quad (6-9)$$

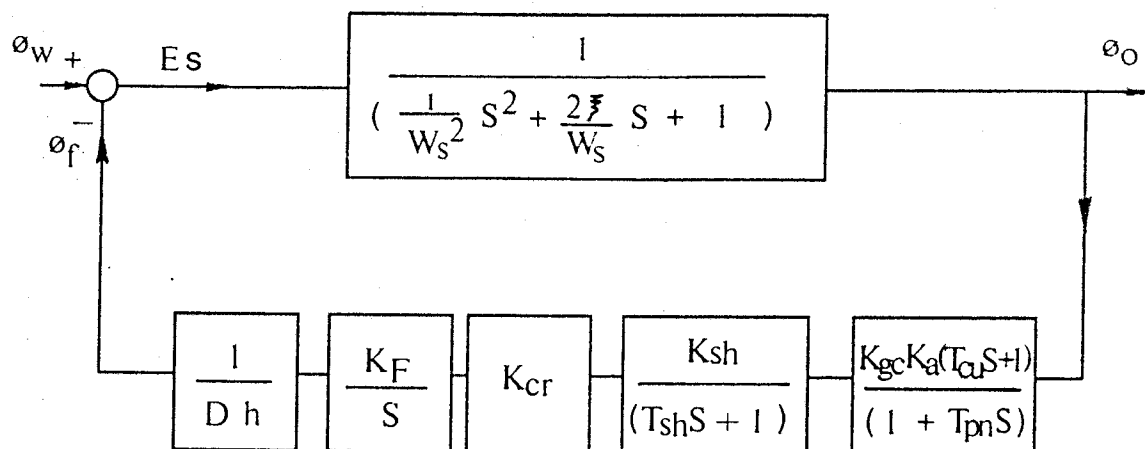
G_0 adalah koefisien momen penstabil yang dikonversikan dalam slope gelombang yang sama. Karena :

$$L(t) = Dh \cdot \theta_f(t) \quad (6-10)$$

sehingga ;

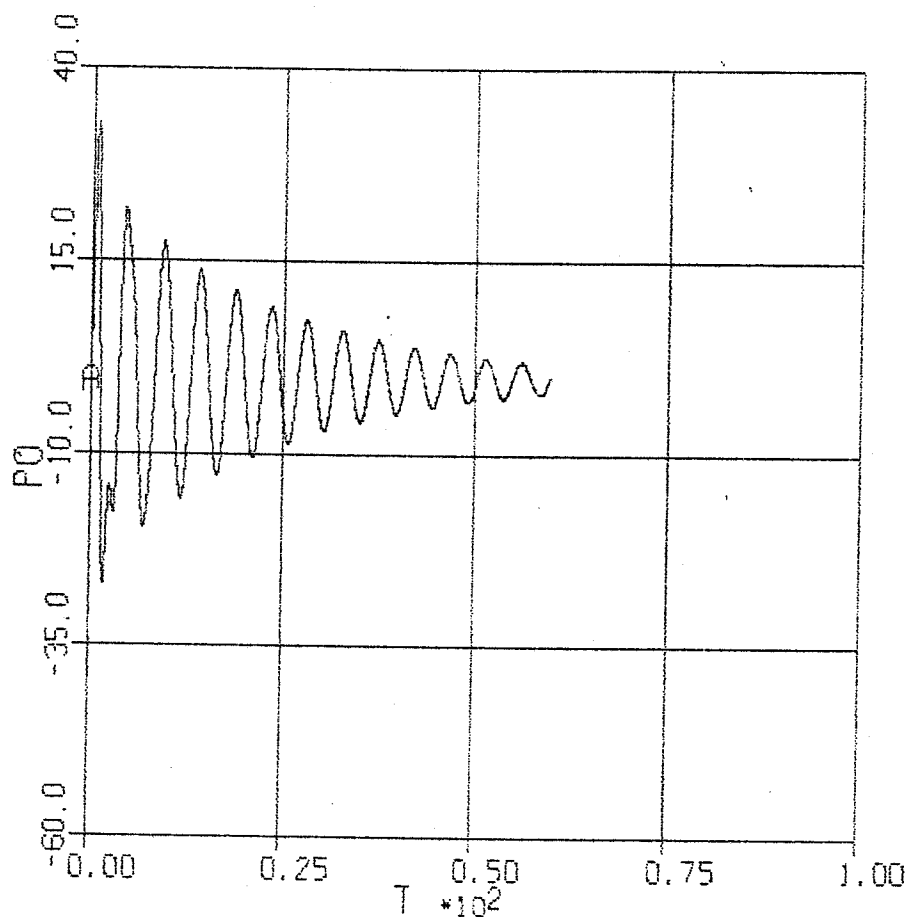
$$G_0(s) = \frac{1}{Dh} \quad (6-11)$$

dimana D adalah displcement kapal dan h adalah tinggi metasentra melintang kapal. Spesifikasi dari kapal dan fin stabiliser dapat dilihat pada tabel 1.



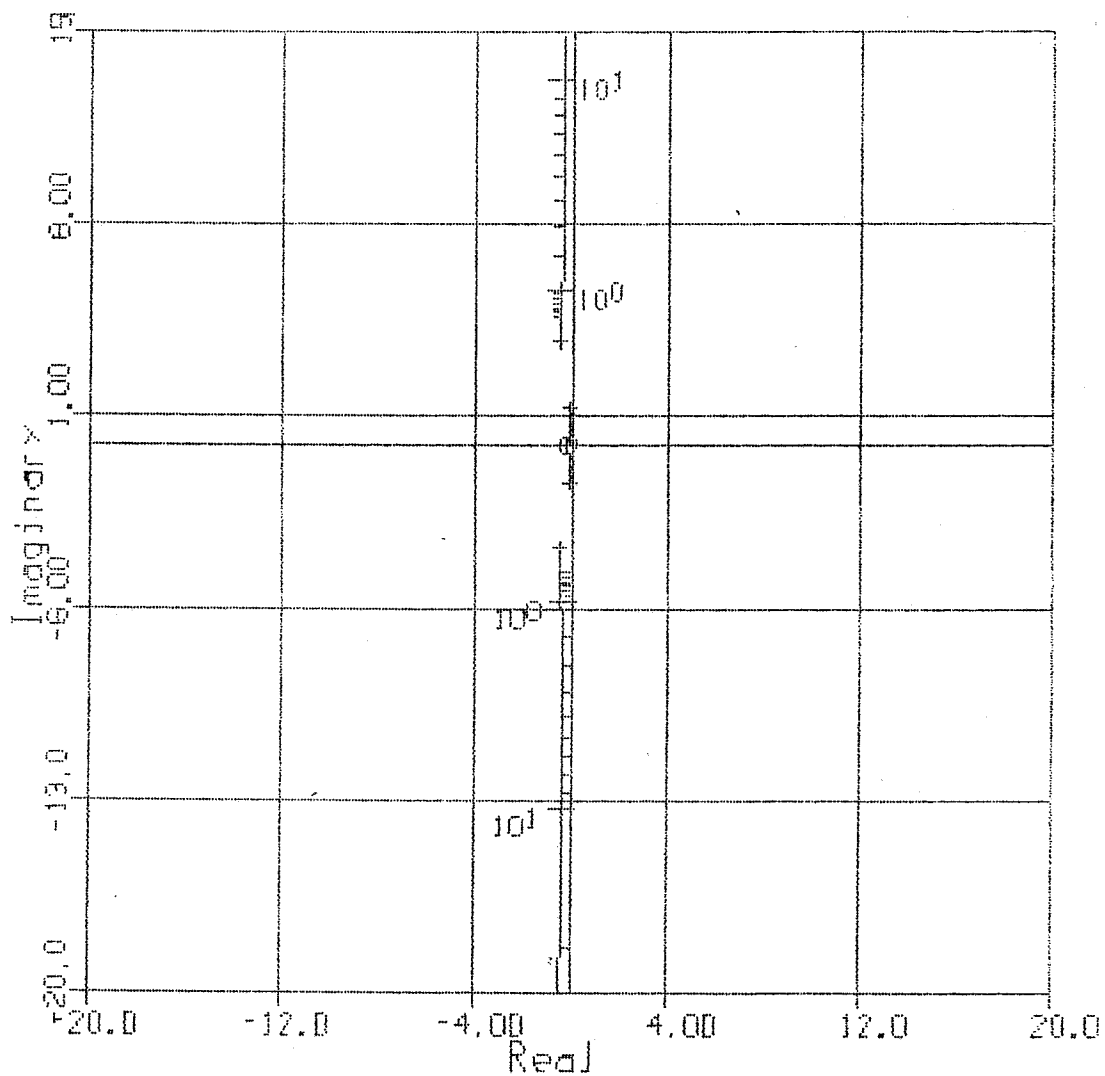
Gambar 6.9 : Block diagram sistem stabilisasi kapal dengan menggunakan kontroler P+D

Dengan menggunakan program komputer ACSL (lihat lampiran 3), kita bisa mendapatkan respon transien sistem stabilisasi kapal, seperti pada gambar 6.10 dibawah ini.



1 94/01/29 03:54:53

Gambar 6.10 : Respon transien sistem stabilisasi kapal
dengan menggunakan kontroler P+D



4 94/01/29 00.35:19

Gambar 6.11 : Root Locus sistem stabilisasi kapal dengan menggunakan kontroler P+D

Dari gambar diatas secara umum dapat kita katakan sistem cukup stabil. Periode (waktu) rolling yang dicapai kira-kira 4 detik. Tetapi amplitudo rolling cukup besar, dimana didalam sistem stabilisasi kapal ini tidak kita kehendaki. Didalam analisa ini wave slope dianggap sebagai input unit tangga dengan besaran 20° (derajat).

Berdasarkan gambar 6.11, yang menggambarkan bahwa sistem masih stabil pada setiap penambahan harga K. Hal ini ditunjukkan oleh lokasi dari pole-pole dan zero-zero nya yang terletak di daerah sumbu real negatif.

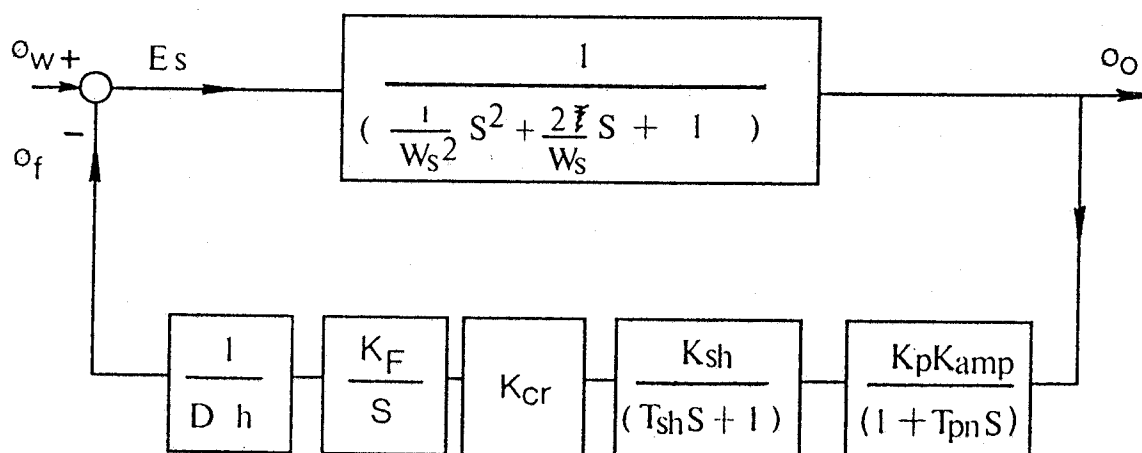
6.3.2. Penerapan Kontroler Proporsional

Dalam hal ini block diagram seperti pada gambar 6.10 dapat kita analisa. Didalam sistem ini unit kontrol yang diterapkan adalah kontroler Proporsional saja.

Dalam sistem ini juga dilengkapi dengan Passive Network and Amplifier, sehingga, dari persamaan (5-14.b) dan (5-20), transfer function dari unit kontrolnya kita peroleh :

$$G_1(s) = G_{cu}(s) = \frac{K_p \cdot K_{amp}}{(T_{pn} + 1)} \quad (6-12)$$

Sedangkan untuk transfer function dari komponen yang lain sama seperti diatas.



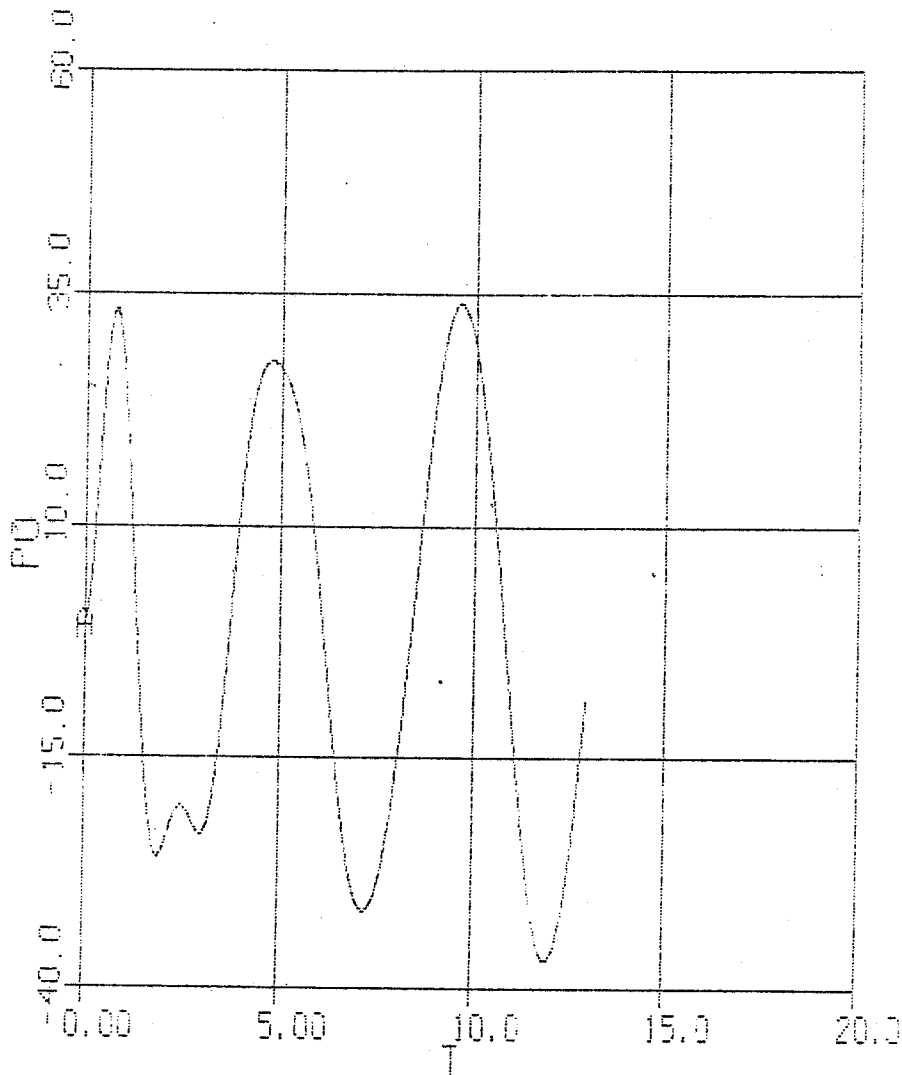
Gambar 6.12 : Block diagram sistem stabilisasi kapal dengan menggunakan kontroler Proporsional

Dengan menggunakan program komputer ACSL (lihat lampiran 4) didapatkan respon transien dari sistem seperti pada gambar 6.10. Dari gambar tersebut menunjukkan respon transien dari sistem stabilisasi kapal dapat dikatakan tidak stabil, karena amplitudo rollingnya bertambah sesuai dengan penambahan waktunya. Hal ini berarti bahwa periode rolling kapal bertambah besar dan akan mengakibatkan kerusakan atau kecelakaan kapal.

Sehingga dapat dikatakan bahwa sistem stabilisasi kapal dengan menggunakan unit kontrol P+D, dengan melihat performansi respon transiennya, bahwa periode dan amplitudo rolling kapalnya lebih baik dibandingkan dengan penerapan kontroler Proporsional saja.

Ship Displacement, D	375 T
Ship Mean Draft	2.2 M
Transverse Metacentric Height, h	0.71 M
Number of Fin Pairs	1
Type of Fin	NACA 0015
Fin Area	1.43 M^2
Aspect Ratio of Fin	0.7
Fin Moment Arm	4.3 M
Fin Lift Coefficient, C_L	1.46
Fin Limited Angle	22 deg.

Tabel 1 : Spesifikasi Kapal dan Fin Stabiliser



**Gambar 6.13 : Respon transien sistem stabilisasi kapal
dengan menerapkan Kontroler Proporsional**

B A B VII

K E S I M P U L A N

Sistem kontrol terdiri dari subsistem elektronik dan hidrolik. Berdasarkan pada kecepatan roll yang diindra oleh gyroscopic, dibuatlah sudut fin. Sudut fin dan sudut roll seperti juga kecepatan dan percepatan roll secara kontinyu dimonitor dan diumpanbalikkan ke sistem kontrol.

Dengan memperhatikan pada seluruh hasil pada kedua hal, yaitu sistem permesinan fin dan sistem stabilisasi kapal yang telah dibahas pada bagian sebelumnya, sistem-sistem tersebut secara signifikan dapat disimpulkan dalam bagian berikut :

- Sistem Permesinan Fin

Untuk sistem ini terdapat dua macam kontroler yang telah dibandingkan, yakni aksi kontrol Proporsional dan aksi kontrol Proporsional + Integral (P+I). Berdasarkan respon transiennya, seperti yang ditunjukkan pada gambar 6.4 dan gambar 6.6, aksi kontrol Proporsional + Integral adalah lebih baik dari pada aksi kontrol Proporsional.

Dibawah aksi kontrol Proporsional, pada sistem permesinan fin terdapat error steady state pada gain constant yang dibutuhkan, dengan kata lain, sudut fin yang

diperintahkan oleh tidak dapat dicapai, dimana hal ini dapat mengakibatkan pengurangan momen antiroll kapal. Dan pada akhirnya hal ini tentunya juga akan mengurangi performansi sistem stabilisasi kapal.

Sementara itu, aksi kontrol Proporsional + Integral meningkatkan sistem permesinan fin untuk menghasilkan sudut fin yang diminta. Sudut fin yang diperintahkan oleh unit step input dapat dicapai dalam waktu kira-kira 4 detik, sehingga kondisi ini akan mendukung sistem stabilisasi kapal dalam hal performansinya.

● Sistem Stabilisasi Kapal

Dalam sistem stabilisasi kapal juga ada dua tipe aksi kontrol yang telah dibandingkan, yakni aksi kontrol Proporsional + Derivarive ($P+D$) dan aksi kontrol Proporsional. Berdasarkan respon transiennya seperti yang ditunjukan pada gambar 6.10 dan gambar 6.13, aksi kontrol Proporsional + Derivative adalah lebih baik dari aksi kontrol Proporsional.

Dibawah aksi kontrol Proporsional, amplitudo rollnya bertambah besar sesuai dengan bertambahnya waktu. Hal ini berarti bahwa periode roll kapal juga bertambah besar dan mengakibatkan kapal malah tambah tenggelam. Sehingga dapat dikatakan bahwa sistem stabilisasi kapal dengan aksi kontrol Proporsional tidak stabil dan disarankan untuk tidak diterapkan pada sistem stabilisasi kapal.

Dari diagram Root Locus pada gambar 6.11, dapat dikatakan bahwa sistem stabilisasi kapal dengan menerapkan aksi kontrol Proporsional + Derivative sistem dalam keadaan stabil, karena letak kedudukan dari akar-akar atau pole-pole dan zero-zeroanya berada pada daerah sumbu real negatif atau sebelah kiri dari sumbu real part.

DAFTAR PUSTAKA

1. Ogata, Katsuhiko : Modern Control System, PHI, 1987.
 2. Ogata, Katsuhiko : Modern Control System, PHI, 1970.
 3. F.G. Shinskey : Process Control System, Mc Graw Hill, 1964.
 4. Adji, Suryo Widodo : Merine Fin Stabiliser ; Design and Analysis of Control System, 1993.
 5. Marshall, S.A., : Introduction to Control System, Mac Millan, 1978.
 6. J. Schwarzenbach & K.F. Gill, : System Modelling and Control, Edward Arnold, 1978.
-

ACSL Implementation on a PC

1. Switch on the computer, and wait for the DOS prompt (C:\USERS>). Then select a line editor (RPED, WS, WP, TP), and produce, or edit, your model program using drive A for your ACSL files, (don't forget, use .CSL suffix).
2. At the DOS prompt, enter **ACSL** followed by **CR** (Carriage Return). This sets up the ACSL environment to enable translation.
3. At the DOS prompt, enter **ACSLANAL YOURNAME**.
4. Assuming no translation or compile errors have occurred, then the DOS prompt will be replaced by the prompt **ACSL>**. To test the simulation use the ACSL command **OUTPUT T, VAR (CR)**, where T is the time variable and VAR signifies a model variable name.
5. At the ACSL prompt enter **START (CR)**, the simulation should now run. The simulation can be aborted by pressing **CTRL BREAK**. To return to DOS, enter **STOP (CR)**.
6. In order to produce a plot file, and display the results on the PC screen, it is necessary to use the **PREPAR** command to prepare a list of variables, i.e. **PREPAR T,X,XD**, prior to the **START** command. Once the prompt **ACSL>** has been restored, then use the command **PLOT 'ALL'** to plot the independent variable T against the dependent variables X and XD.
7. To utilise the frequency response features of ACSL, it is necessary to use the command **ANALYZ**. A run-time **ANALYZ** command line may take the form :

ANALYZ 'TRIM', 'CONTRL'=F, 'OBSERV'=X, 'BODE'

The subcommands are interpreted as follows :

'TRIM' transfers the initial conditions to the state variables, and must be used before a plot can be obtained.

'CONTRL' and 'OBSERV' are used to define lists of control variables and observable states, i.e. input and output variables.

'BODE' is used to produce a Bode plot of phase and gain against frequency over the range minimum 'FREQMN' to maximum 'FREQMX', in 'HERTZ'=T. or radians/s 'HERTZ'=F.

Other frequency response plots. i.e. 'NYQUIST', 'NICHOLS' and 'ROOTLOC' are also available.

8. The SET command can be used to adjust the value of any defined constant, or variables, i.e. SET C=2, K=10.
9. It is possible to produce a run-time command file (using a line editor) which will be used to set parameters at run time. The filename has the suffix .CMD, and is invoked using the command SET CMD=10 (CR). At the prompt enter YOURNAME.CMD (CR).

A typical listing for SPRING.CMD may take the form :

```
SET C = 2
OUTPUT T,X,'NCIOUT'=10
PREPAR T,X
START
PLOT 'ALL'
PAUSE
ANALYZ 'TRIM','OBSERV'=X,'CONTRL'=F,'FREQMN'=0.01,'FREQMX'=100
ANALYZ 'BODE'
PAUSE
ANALYZ 'NYQUIST'
```

10. To obtain plots using an Epson printer it is necessary to redirect the plot output to a neutral file on your floppy disc. Before attempting to obtain a hardcopy it is recommended that all plots are 'previewed' using the normal plot-to-screen procedure, since it is necessary to exit from ACSL, and run a plot utility program to obtain the hardcopy. The procedure is as follows :

At the ACSL prompt (ACSL>), use the **PREPAR** command to select the variables (see note 7), i.e. **PREPAR T,Y**. Then,

SET DEVPLT=2

(Redirect plot to a 'neutral file')

SET PLT = nn

(where nn is a number between 1-99)

The **PLOT 'ALL'** command (and **ANALYZ 'BODE'** etc.) will automatically produce a file, **FOR0nn**, on your floppy disc, but will not display the plot on screen. Use **SET DEVPLT=1** to redirect plots back to the CRT display.

Having used the above procedure to obtain the required plot files, you are then required to exit from the model using the **STOP** command. At the DOS prompt (A:>), enter the command **PLOTIT [CR]**. You will then be asked to identify the printer (**E** - for Epson), input filename (**FOR0nn**), output file [**PRN**] (**CR** - directs output to the parallel printer port), and finally select double density (**D**). Ensure that an EPSON printer is connected to the PC, and is on-line.

Having produced all your required plots, you can return to your model by entering, **C:\ACSL\MODEL (CR)**, at the DOS prompt.

PROGRAM FINMACH

"Program ini untuk mencari respon transien dari"

"sistem permesinan fin dengan Kontroler Proporsional saja."

"Program oleh Taufiq Hermawan W"

DYNAMIC

CINTERVAL CINT=0.01

"The integration interval must be defined by CINT,"

"on this occasion CINT is set to 0.01 second."

DERIVATIVE

"K1 = Constan gain of servo control unit."

"KSH = Servo-hydrolic constan gain."

"TSH = Servo-hydrolic time constan."

"KCR = Crank constan gain."

"H = Switch on/off for the feedback system."

CONSTANT K1=7.5, KSH=5.5, TSH=0.5, H=1.0,...

KCR=0.20, BTD=1.0, ICYB=0.0, TSTP=1.99

"The dynamic equation are as following,"

$$XB = K1 * EB$$

$$YB = \text{REALPL}(TSH, XB, ICYB) * KSH$$

$$BTC = KCR * YB$$

$$EB = BTD - (H * BTC)$$

TERMT (T.GE.TSTP)

END \$"End of Derivative"

END \$"End of Dynamic Segment"

END \$"End of Program"

"THE ACSL RUNTIME COMMANDS"

"Closed-loop system with unit step input."

"Let BTD is equal to ONE."

"SET DEVPLT=2"

"SET PLT=28"

OUTPUT T, BTC, 'NCIOUT'=10

PREPAR T, BTC

START

PRINT T, BTC

PAUSE

PLOT T, BTC

PAUSE

ANALYZ 'TRIM', 'OBSERV'=BTC, 'CONTRL'=BTD, 'FREQMN'=0.1, 'FREQMX'=1000

ANALYZ 'REALMN'=-2, 'REALMX'=2

ANALYZ 'IMAGMN'=-5, 'IMAGMX'=5

ANALYZ 'BODE'

PAUSE

ANALYZ 'NYQUIST'

PAUSE

PROGRAM FINSTAB

"Program ini untuk menganalisa stabilisasi kapal,"
 "dengan wave slope sebagai input, yang akan dikontrol,"
 "dengan menggunakan P+D Feedback Controller."
 "Program oleh Taufiq Hermawan W."

DYNAMIC

CINTERVAL CINT=0.01

"The integration interval must be defined by CINT,"
 "on this occasion CINT is set to 0.02 second."

DERIVATIVE

"AS = {1/Ws²}, where Ws = 4.0 Hz."

"BS = {2*xi/Ws}, where xi = 0.10"

"TCU = Control unit time constant."

"TPN = Passive network time constant."

"KGC = Gyroscopic constant gain."

"KAMP= Amplifier constant gain."

"KSH = Servo-hydrolic constan gain."

"TSH = Servo-hydrolic time constan."

"KCR = Crank constan gain."

"KF = Fin-Stabilisers constant gain."

"D = Ship Displacement."

"H = Ship Transverse metacentric height."

"PW = Wave slope input."

"IC1 = Initial condition of ship roll velocity."

"IC2 = Initial condition of ship roll angle."

"ICX = Initial condition of servo valve rack."

"ICY = Initial condition of ram-actuator."

"ICL = Initial condition of lift force."

"K = Switch on/off for the feedback system."

CONSTANT AS=0.0625, BS=0.05, TCU=0.075, TPN=7.5,...

KGC=2.0, KAMP=20.0, TSH=0.05, KSH=10.0,...

KCR=0.20, KF=40.0, D=375.0, H=0.71, PW=20.0,...

IC1=0.0, IC2=0.0, ICX=0.0, ICY=0.0, ICL=0.0,...

K=1.0, TSTP=59.99

"The dynamic equation are as following,"

PO = CMPXPL (AS,BS,E,IC1,IC2)

X = LEDLAG (TCU,TPN,PO,ICX) * KGC *KAMP

Y = REALPL (TSH,X,ICY) * KSH

B = KCR * Y

L = INTEG (B,ICL) * KF

PF = L / (D * H)

E = PW - (PF * K)

TERMT (T.GE.TSTP)

"This statement terminates the derivative segment"

"when T is greater than (or equal) to TSTP."

END \$"End of Derivative"

END \$"End of Dynamic Segment"

END \$"End of Program"

"THE ACSL RUNTIME COMMANDS"

"Closed-loop system with unit step input."

"The wave slope input is at 20 degrees."

"SET DEVPLT=2"

"SET PLT=17"

"SET K=1"

"SET PW=20"

OUTPUT T, PO, 'NCIOUT'=10

PREPAR T, PO

START

PLOT 'ALL'

PAUSE

ANALYZ 'TRIM', 'OBSERV'=PO, 'CONTRL'=PW, 'FREQMN'=0.1, 'FREQMX'=100

ANALYZ 'REALMN'=-20, 'REALMX'=20

ANALYZ 'IMAGMN'=-20, 'IMAGMX'=15

ANALYZ 'BODE'

PAUSE

ANALYZ 'NYQUIST'

PAUSE

ANALYZ 'ROOTLOC'

PAUSE

PROGRAM FINSTAB

"Program ini untuk menganalisa stabilisasi kapal,"
"dengan wave slope sebagai input, yang akan dikontrol,"
"dengan menggunakan Proporsional Control Action."
"Program oleh Taufiq Hermawan W."

DYNAMIC

CINTERVAL CINT=0.01

"The integration interval must be defined by CINT,"
"on this occasion CINT is set to 0.01 second."

DERIVATIVE

"AS = {1/Ws^2}, where Ws = 4.0 Hz."
"BS = {2*xi/Ws}, where xi = 0.10"
"TPN = Passive network time constant."
"KP = Gyroscopic constant gain."
"KAMP= Amplifier constant gain."
"KSH = Servo-hydrolic constan gain."
"TSH = Servo-hydrolic time constan."
"KCR = Crank constan gain."
"KF = Fin-Stabilisers constant gain."
"D = Ship Displacement."
"H = Ship Transverse metacentric height."
"PW = Wave slope input."
"IC1 = Initial condition of ship roll velocity."
"IC2 = Initial condition of ship roll angle."
"ICX = Initial condition of servo valve rack."
"ICY = Initial condition of ram-actuator."
"ICL = Initial condition of lift force."
"K = Switch on/off for the feedback system."

CONSTANT AS=0.0625, BS=0.05, TPN=7.5,...
KP=2.0, KAMP=20.0, TSH=0.05, KSH=10.0,...
KCR=0.20, KF=40.0, D=375.0, H=0.71, PW=0.0,...
IC1=0.0, IC2=0.0, ICX=0.0, ICY=0.0, ICL=0.0,...
K=0.0, TSTP=12.99

"The dynamic equation are as following,"

PO = CMPXPL (AS,BS,E,IC1,IC2)
X = REALPL (TPN,PO,ICX) * KP * KAMP
Y = REALPL (TSH,X,ICY) * KSH
B = KCR * Y
L = INTEG (B,ICL) * KF
PF = L / (D * H)
E = PW - (PF * K)

TERMT (T.GE.TSTP)

"This statement terminates the derivative segment"
"when T is greater than (or equal) to TSTP."

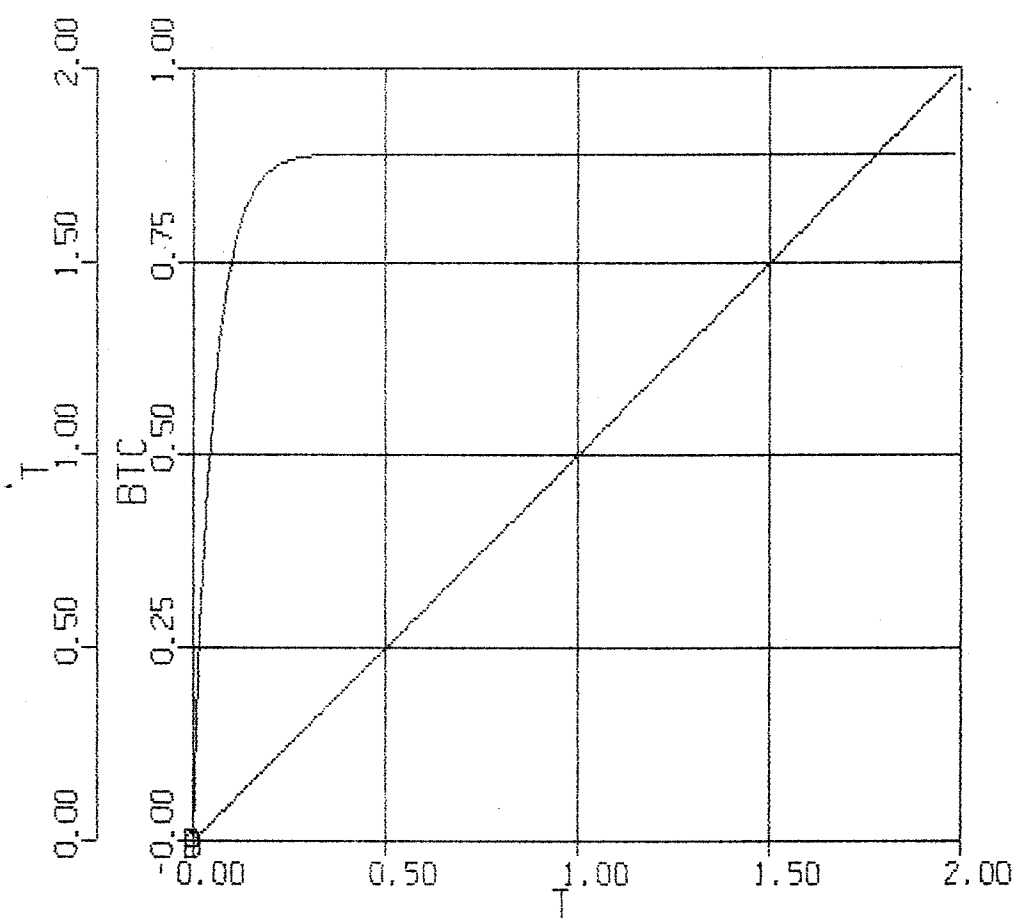
END \$"End of Derivative"

END \$"End of Dynamic Segment"

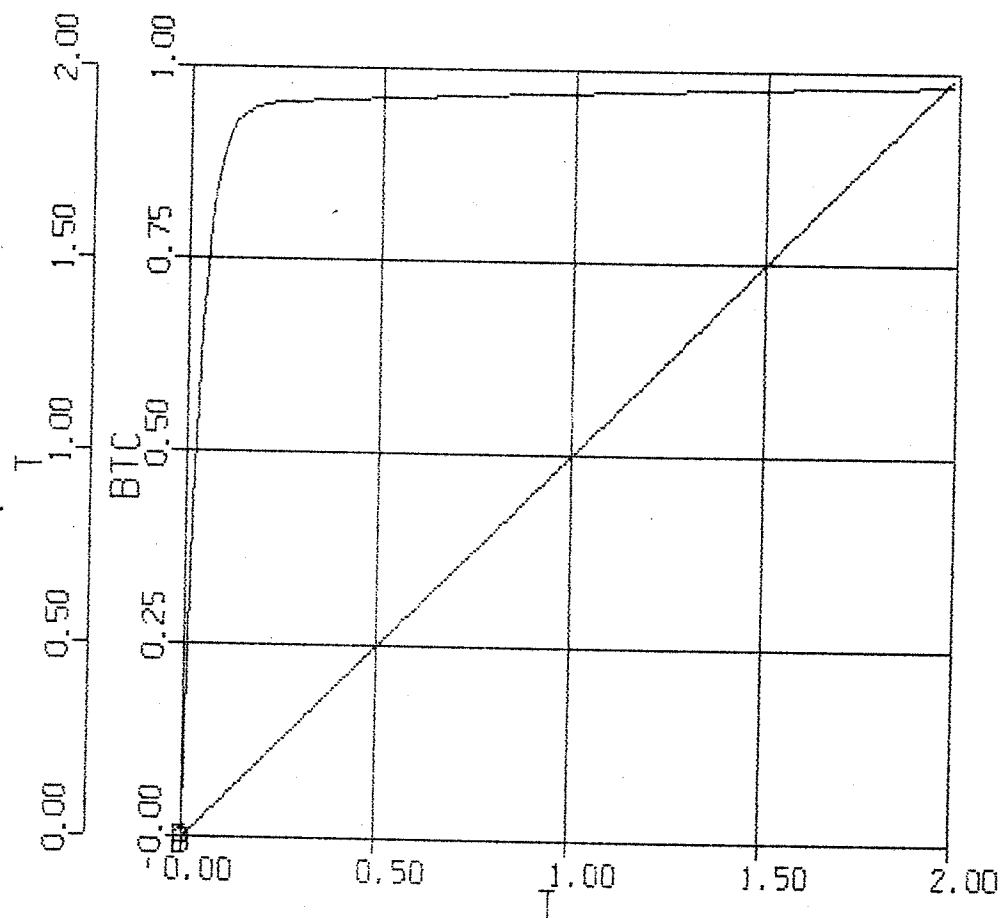
END \$"End of Program"



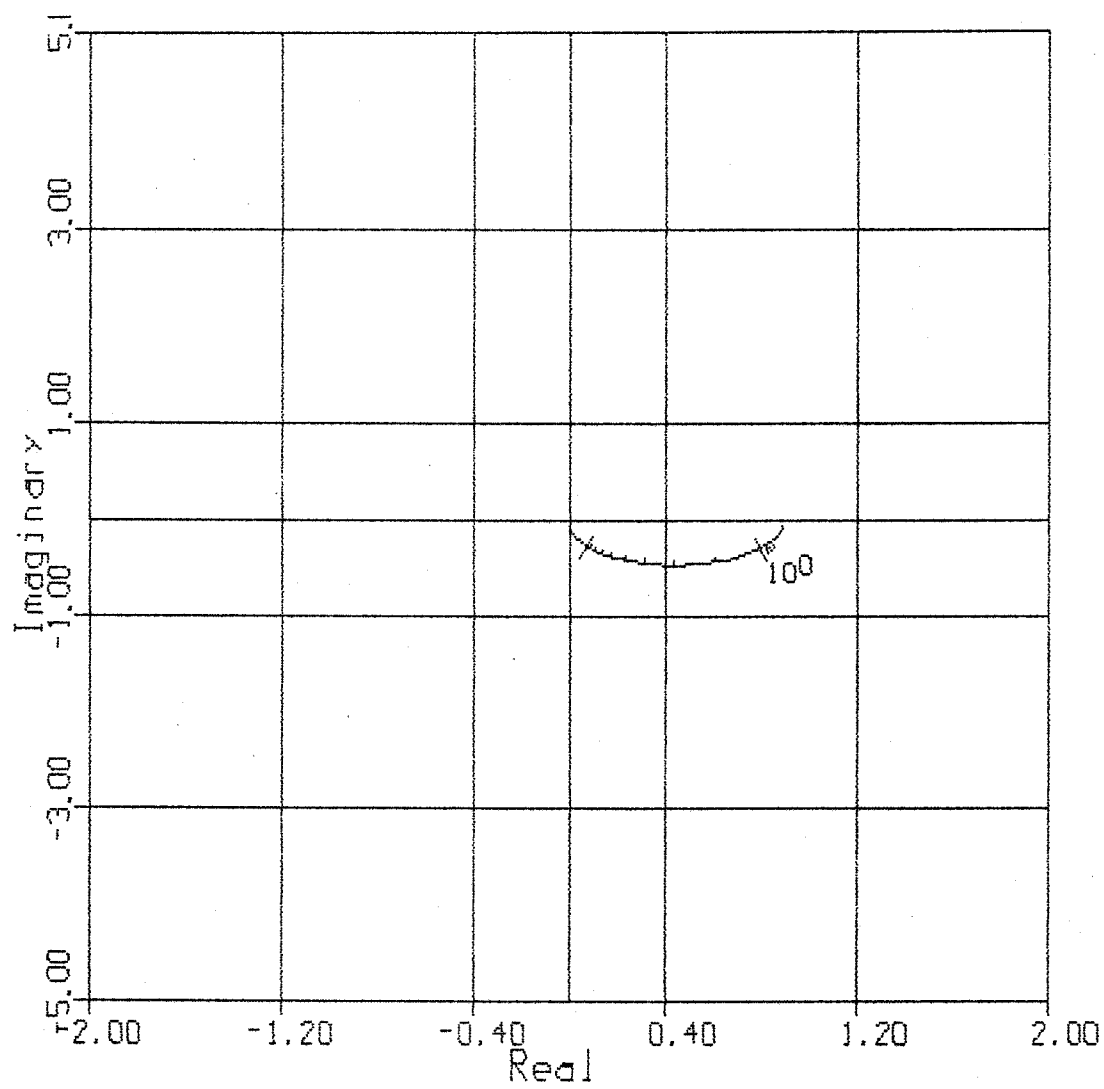
REKAM KAPAL
KORPRIKORAN TNI-AL
KEMENTERIAN PERTAHANAN
REPUBLIK INDONESIA



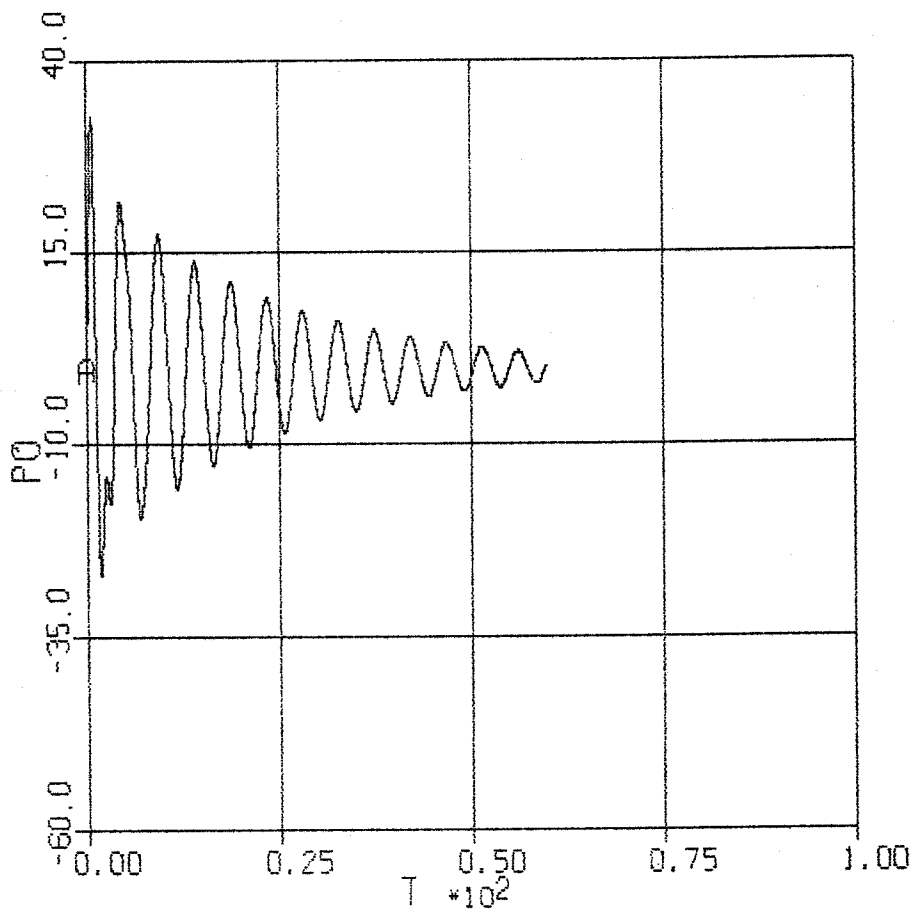
1 94/01/23 16:27:26



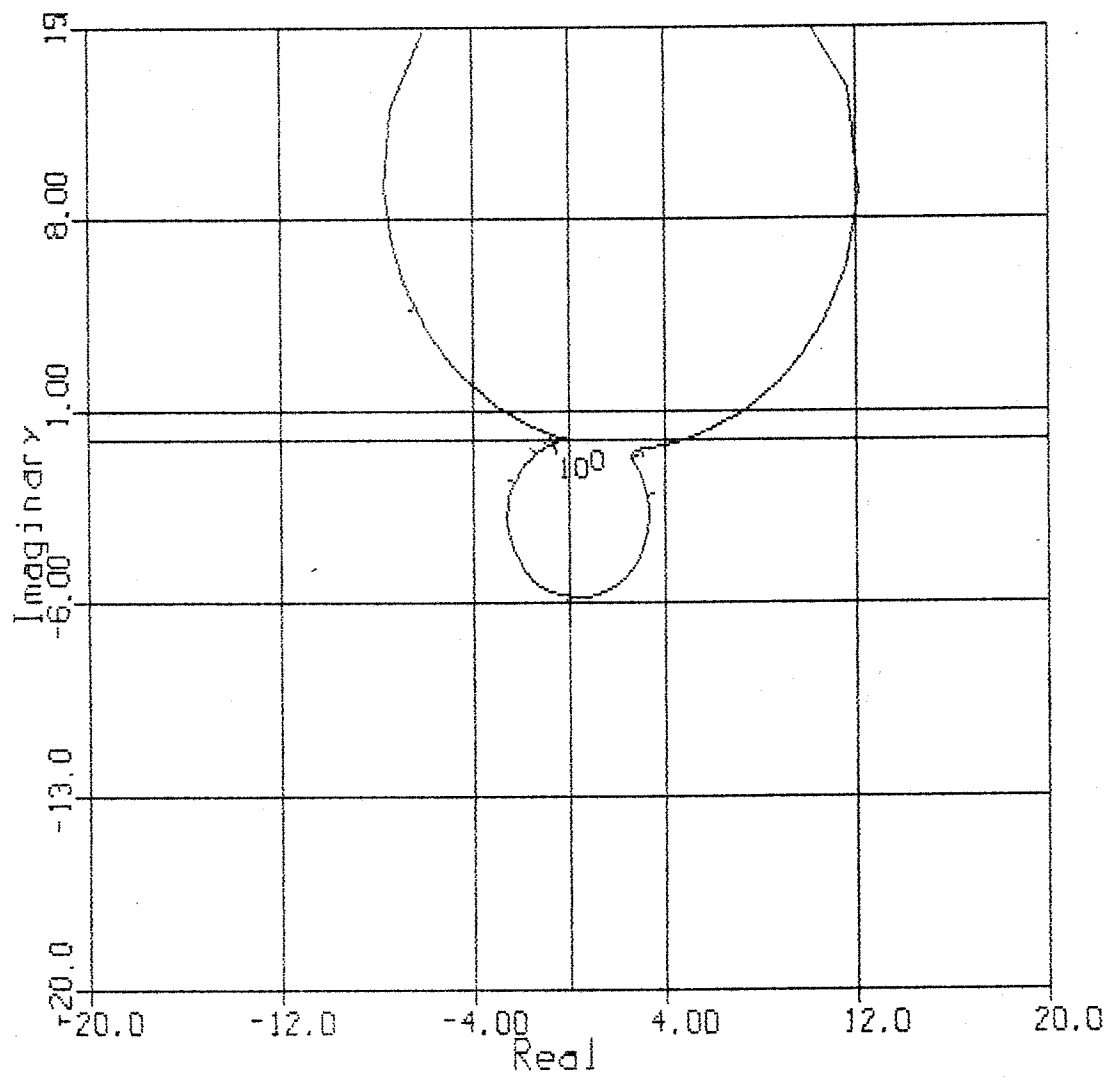
1 94/01/23 16:43:00



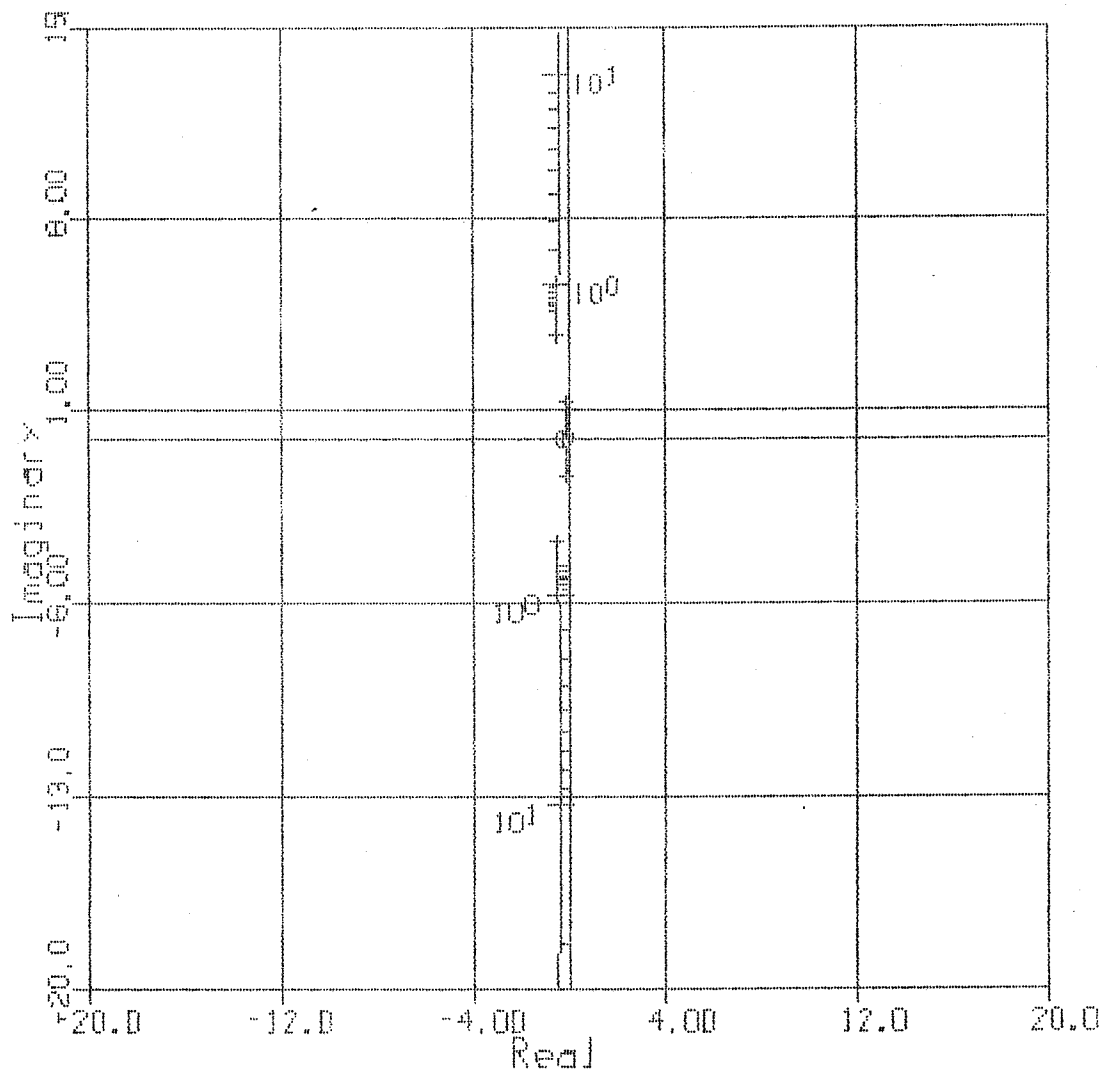
3 94/01/23 15:59:17

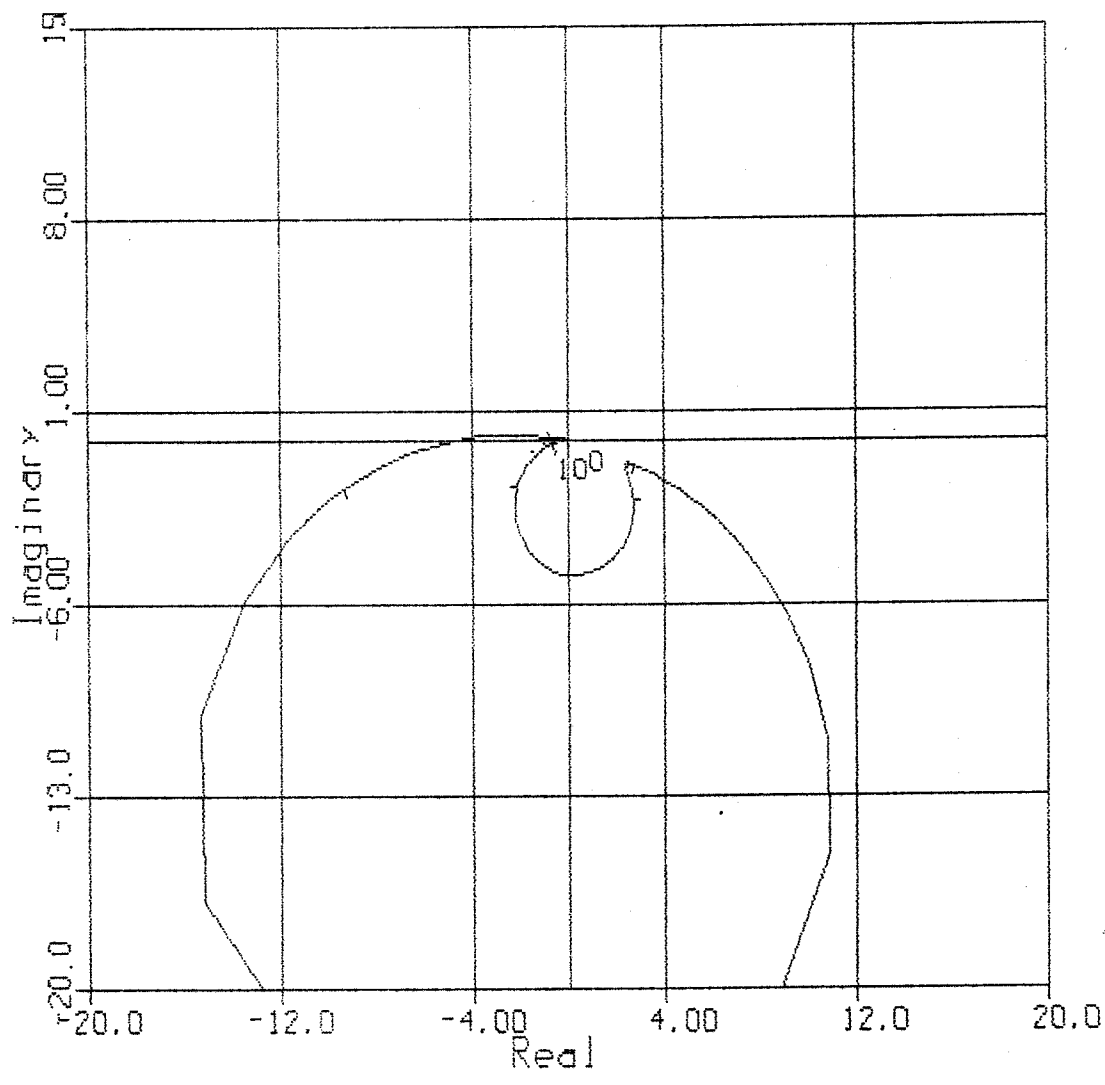


1 94/01/29 03:54:53

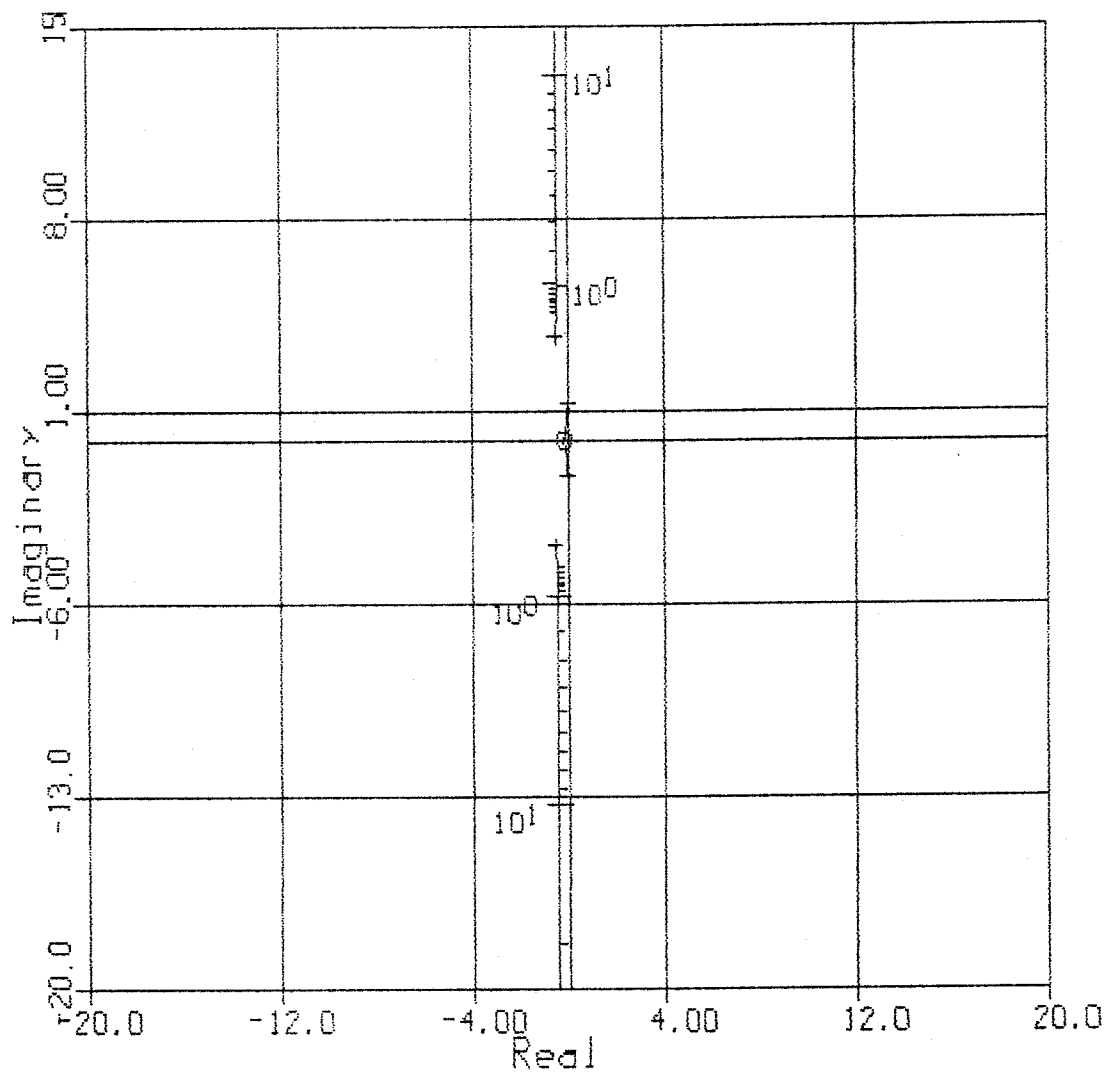


3 94/01/29 00:35:19





7 94/01/29 05:21:53



8 94/01/29 05:21:53